

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Калининой Тамары Ипполитовны "Задачи для пьезоэлектрического пространства и упругой полосы с поверхностными напряжениями при комбинированных источниках волн", представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8 – Механика деформируемого твердого тела

В работе исследуется ряд задач механики деформируемого твердого тела с усложненными свойствами при осциллирующих источниках, движущихся с постоянными скоростями. Такие движущиеся осциллирующие источники названы комбинированными. Следуя методологии, введенной для подобных задач А.В. Белоконем, задачи с комбинированными источниками называются задачами *B*, задачи с только подвижными источниками – задачами *Б*, а наиболее стандартные задачи с только осциллирующими источниками – задачами *A*. Подобные задачи исследовались ранее в работах А.В. Белоконоя и научного руководителя диссертации для упругих сред. Тем не менее, задачи *B* остаются до сих пор недостаточно изученными, особенно для сред с усложненными свойствами и при нестандартных постановках. Это и определяет **актуальность темы** диссертационного исследования.

В работе рассматриваются **два новых класса задач *B***: задачи для пьезоэлектрического (электроупругого) пространства и задачи для упругой нанотонкой упругой полосы, в которых для учета наномасштабного фактора используется модель Гуртина-Мурдоха, достаточно популярная в задачах наномеханики.

При **оценке содержания диссертационной работы** отметим, что работа представляется качественным исследованием, проведенным с использованием методов математики и механики, общепринятых для подобных задач. Цель работы и задачи, решение которых необходимы для ее достижения, четко сформулированы. Полученные результаты проанализированы, систематизированы и изложены хорошим языком.

Диссертационная работа Калининой Т.И. общим объемом 123 страницы машинописного текста включает введение, три главы, заключение и список литературы из 135 наименований.

Во введении представлен обзор исследования, обоснована актуальность работы, отмечены научная и практическая значимость темы, ее научная новизна, сформулированы цели, задачи и методы исследования, приведены положения, выносимые на защиту, описана структура диссертации, дан список публикаций по теме диссертации с указанием авторского вклада.

Первая глава превосходит по объему текста две последующие главы и содержит описание исследований задач с подвижными осциллирующими источниками для электроупругого пространства в антиплоской, плоской и пространственной постановках. Здесь применяются стандартные методы решения задач для бесконечно протяженных областей: применение принципа предельного поглощения для выделения единственных решений; интегральные преобразования Фурье и методы контурного интегрирования теории функции комплексного переменного; теория вычетов и метод стационарной фазы для нахождения решений в дальнем поле. Кроме того, используется техника, развитая в работах А.В. Белокопя и А.В. Наседкина для задач B : анализ дисперсионных уравнений задачи B , исходя из дисперсионных соотношений задачи A ; исследование характеристических волновых поверхностей при различных режимах движения и энергетический анализ решений в дальнем поле в подвижной системе координат для подвижного и неподвижного наблюдателей. Перечисленные подходы были распространены на задачи для электроупругих сред, для которых были найдены фундаментальные решения, включающие помимо динамических и статических составляющих, аналогичных полученным ранее для упругих задач, также и несвязанный электростатический потенциал.

Во второй главе решаются задачи B для упругой нанотонкой полосы в антиплоской постановке. Для учета размерного фактора использована модель Гуртина-Мурдоха, включающая наличие на границах полосы поверхностных напряжений и инерционных нагрузок. Исследованы как симметричные, так и антисимметричные задачи. Здесь также применены стандартные для волноводных задач методы (принцип предельного поглощения, преобразование Фурье по бесконечно протяженной координате и методы контурного интегрирования) и специфические подходы для задач B . Наиболее интересным является анализ первых дисперсионных кривых при различных толщинах полосы, а также сравнение их с дисперсионными кривыми задач A . Отмечены особенности решений при учете поверхностных эффектов. Так, найдена новая асимптота дисперсионных кривых и отмечено,

что поверхностные напряжения и инерционные нагрузки оказывают заметное влияние лишь тогда, когда толщина полосы является очень малой.

В третьей главе дается решение задач для упругой полосы с поверхностными напряжениями в плоской постановке для симметричных и антисимметричных нагрузок. Здесь, однако рассматривались только задачи A , в которых движение источника не учитывалось. Были применены подходы, аналогичные использованным для антиплоской задачи, и получены решения в виде рядов по нормальным волнам. В численном примере были проанализированы первые три дисперсионные кривые, были отмечены особенности, вызванные учетом поверхностных напряжений, а также сделаны аналогичные выводы, отмеченные во второй главе.

Заключение содержит основные результаты и общие выводы диссертационного исследования.

Новизна полученных в работе результатов состоит в следующем:

- 1) получены и исследованы фундаментальные решения в антиплоских, плоских и пространственных задачах при подвижных осциллирующих источниках для электроупругих сред;
- 2) найдены асимптотики волновых полей фундаментальных решений для электроупругих сред при подвижных осциллирующих источниках в дальней зоне и получены формулы для средних за период колебаний энергий и вектора потока энергии;
- 3) получены и исследованы решения симметричной и антисимметричной задач для упругой полосы с учетом поверхностных напряжений по модели Гуртина-Мурдоха при подвижных осциллирующих нагрузках в антиплоской постановке;
- 4) получены и исследованы решения симметричной и антисимметричной задач для упругой полосы с учетом поверхностных напряжений по модели Гуртина-Мурдоха при осциллирующих нагрузках в плоской постановке.

Теоретическая и практическая значимость работы:

- 1) получены фундаментальные решения задач с подвижными осциллирующими источниками для пьезоэлектрического пространства, пригодные для различных режимов движения, выделены динамические и квазистатические составляющие решений; проанализированы свойства поверхностей фазовых скоростей, рефракции и групповых скоростей; найдены асимптотики решения в дальней зоне методом стационарной фазы, представлены компактные формулы для вектора потока энергии для подвижного и неподвижного наблюдателей;

- 2) из анализа фундаментальных решений задач электроупругости при подвижных осциллирующих возмущениях в дальней зоне сделаны выводы о влиянии движения источника на свойства волновых полей: изменения зон распространения волн и их числа, появление быстрых и медленных волн, а также отрицательность энергии, измеренной подвижным наблюдателем, для медленных волн при транс- и сверхзвуковых движениях источника;
- 3) получены решения антиплоских и плоских задач об установившихся колебаниях для упругой нанотонкой полосы с учетом поверхностных эффектов в симметричной и антисимметричной постановках, в том числе при подвижных источниках;
- 4) для конкретных примеров были исследованы первые дисперсионные кривые в задачах для упругой полосы с поверхностными напряжениями, сделан анализ поведения первых частот запертия, волновых чисел и зон существования обратных волн при варьировании наноразмерных толщин упругой полосы;
- 5) практическая значимость работы обусловлена возможными применениями полученных результатов при разработках современных устройств и конструкций, подвергающихся воздействию движущихся осциллирующих источников волн, а также для волноводов с наноразмерными поперечными сечениями.

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, обеспечивается использованием современного математического аппарата, основных принципов теории электроупругости, динамической теории упругости, корректными математическими постановками задач электроупругости и теории упругости с поверхностными напряжениями, применением апробированных подходов для решения динамических упругих и электроупругих задач для неограниченных и полуограниченных областей. Обоснованность результатов, полученных соискателем, подтверждается согласованностью с имеющимися результатами для частных случаев.

Замечания по диссертационной работе.

1. В задачах первой главы анализ числа распространяющихся волн при различных режимах движения источника приведен для отдельных пьезоэлектрических сред и сечений волновых поверхностей. Было бы интересно провести анализ характеристических волновых поверхностей для других кристаллографических классов пьезоэлектрических материалов.

2. Было бы интересно провести более детальное исследование явления возникновения отрицательного потока энергии.
3. В третьей главе изучается плоская задача для полосы без движения источника. Было бы полезным и эту задачу рассматривать для подвижных осциллирующих нагрузок.

Указанные замечания не снижают положительную оценку проделанной работы, а скорее являются рекомендациями для дальнейших исследований.

Выводы:

- 1) тема диссертационной работы обладает необходимыми признаками актуальности для науки и практики;
- 2) результаты исследований достоверны, обоснованы и прошли необходимые стадии апробации;
- 3) в работе не обнаружено случаев заимствования чужих материалов без необходимых ссылок на первоисточник;
- 4) методы и результаты, представленные в диссертационной работе, имеют научную новизну и практическую значимость для решения задач теории упругости и электроупругости с подвижными осциллирующими возмущениями и с поверхностными напряжениями в рамках модели Гуртина-Мурдоха;
- 5) автореферат правильно отражает содержание диссертации;
- 6) основные результаты с достаточной полнотой представлены в 13 публикациях автора, среди которых имеются 4 статьи в профильных рецензируемых журналах, входящих в перечень изданий, рекомендованных ВАК РФ.

Заключение.

Диссертационная работа Калининой Тамары Ипполитовны "Задачи для пьезоэлектрического пространства и упругой полосы с поверхностными напряжениями при комбинированных источниках волн" представляет собой завершённое научное исследование, обладающее научной новизной и представляющее практический интерес для высокотехнологичных производственных отраслей. В работе содержится решение ряда новых и актуальных задач динамической теории упругости и электроупругости.

Работа отвечает следующим пунктам паспорта специальности 1.1.8:

3. Задачи теории упругости, теории пластичности, теории вязкоупругости.
6. Микромеханика, наномеханика, механика дискретных сред.
8. Динамика деформируемого твёрдого тела. Теория волновых процессов в средах различной структуры.

Диссертационная работа "Задачи для пьезоэлектрического пространства и упругой полосы с поверхностными напряжениями при комбинированных источниках волн" отвечает требованиям Положения о присуждении ученых степеней в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Южный федеральный университет», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Калинина Тамара Ипполитовна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8 – Механика деформируемого твердого тела.

16 ноября 2025 г.

Даю согласие на обработку своих персональных данных

Официальный оппонент

 Глушкова Наталья Вилениновна

доктор физико-математических наук
(специальность 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела),
профессор,
главный научный сотрудник Института математики, механики и информатики,
ФГБОУ ВО "Кубанский государственный университет",
телефон: +7(861) 219-95-02,
e-mail: nvg@math.kubsu.ru,
адрес: 350040, г. Краснодар, ул. Ставропольская, д. 149

