

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор ФГБОУ ВПО
«Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)»



Равинович Ю.А.
«16» мая 2017 г.

Отзыв

ведущей организации на диссертационную работу
Сыромятникова Павла Викторовича «Динамика сложных многослой-
ных гетерогенных сред», представленную на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук по специальности 01.02.04 –
Механика деформируемого твердого тела

Актуальность темы исследований. Диссертационная работа П.В. Сыромятникова посвящена исследованию динамических процессов в многослойных полугораниченных упругих анизотропных, электроупругих, пирозлектрических, термоупругих средах, обозначаемых общим термином термоэлектроупругие среды, с внутренними неоднородностями различной физической природы: трещинами, жесткими включениями, тепловыми и электрическими неоднородностями. При этом упругая, тепловая и электрическая анизотропия каждого слоя может быть произвольной.

Краевые задачи в столь общей постановке возникают в различных областях науки и техники. К числу проблем, описываемых подобными краевыми задачами, относится оценка сейсмичности и прогноза землетрясений на основе механической концепции, в течение ряда лет разрабатываемой в Кубанском государственном университете. В данной проблеме анализ напряженно-деформированного состояния литосферных плит требует учета упругой анизотропии, связности механических, электромагнитных и тепловых полей, влияния внутренних неоднородностей.

На эффектах связанности физически различных полей также основано функционирование большого числа технических устройств, например, устройств акустоэлектроники. Расчет таких устройств приводит к необходимости анализа взаимодействия системы электродов с анизотропными материалами, обладающими пьезо- и пирозлектрическими свойствами. В строгой постановке рассматриваемые в диссертационной работе задачи представляют собой смешанные и, в частности, контактные задачи. Как правило, при решении контактных задач теории упругости основное внимание уделяется расчету контактных напряжений, вопрос поведения многослойных сред за пределами области контакта остается, за редким исключением, без внимания. В проблеме механической концепции прогноза сейсмичности этот вопрос является ключевым. Моделирование динамики различных сред в диссертационной работе основано на анализе и методах расчета интегральных представлений решений краевых задач в виде одно- и двукратных интегралов Фурье. Методы расчета подобных интегралов представляют большой интерес для

различных областей математической физики, поскольку аналогичные представления встречаются весьма часто. Анализ распространения упругих волн в многослойных анизотропных средах, описываемых интегралами Фурье, представляет значительный интерес для сейсморазведки, геофизики, разработки новых композиционных материалов, конструкций и деталей из композитов.

Весьма актуальны данные исследования в области неразрушающего контроля, в частности, в области ультразвуковой и тепловой дефектоскопии. Решение задач, связанных с возбуждением поверхностными или внутренними источниками в упругой среде волновых и тепловых полей, является ключевым этапом при решении обратных задач определения параметров скрытых неоднородностей.

Несмотря на достаточное разнообразие имеющихся на сегодняшний день методов и подходов, задача вычисления двукратных интегралов Фурье, представляющих решения краевых задач анизотропной теории упругости, электроупругости и термоэлектроупругости пока еще далека от исчерпывающего решения. Следует отметить, что, в отличие от однократных интегралов Фурье, на сегодняшний день не существует стандартного алгоритма их вычисления. Разработка соответствующих численно-аналитических методов составляет основное содержание диссертационной работы.

Одна из глав диссертационной работы посвящена численно-аналитическому исследованию возмущений на поверхности упругого слоя, вызываемых подвижным осциллирующим источником поверхностных напряжений. Данные задачи актуальны в первую очередь в области моделирования движения высокоскоростного наземного и подземного транспорта. Применяемый в данной работе подход к решению динамической краевой задачи с подвижным источником основан на тех же методах расчета интегральных представлений, что и для неподвижных осциллирующих источников, воздействующих на анизотропную среду.

В связи с вышеизложенным актуальность темы диссертации вполне очевидна.

Обоснованность и достоверность результатов диссертации обеспечивается использованием строгих математических методов и адекватных физических моделей, сопоставлением результатов с аналогичными результатами, полученными разными методами другими авторами, сопоставлением теоретических результатов с имеющимися экспериментальными данными.

Общая характеристика работы. Диссертация состоит из двух томов. Первый том объемом 292 стр. включает в себя введение, шесть глав, заключение, список литературы, содержащий 350 ссылок, список иллюстративного материала. Во второй том, имеющий объем 135 стр., вошли приложения, содержащие иллюстрации к пятой и шестой главам, список из 24 свидетельств об официальной регистрации программ, одного патента.

Во введении приводится краткий обзор литературных источников по теме диссертационной работы, обосновывается актуальность темы диссертации, дается общая характеристика работы, формулируются цель и основные задачи исследования, определяются научная новизна и практическая значи-

мость результатов.

Первая глава имеет вводный характер. В ней излагаются основные сведения о факторизации функций и матриц-функций, о применении факторизационного метода Винера-Хопфа к решению некоторых функциональных уравнений, приводится общая схема дифференциального метода факторизации для случая блочных структур, описывается топологический подход в теории блочных структур при наличии разноразмерных блочных элементов, схема метода фиктивного поглощения.

Вторая глава содержит описание основных соотношений и уравнений начально-краевых задач динамики термоэластопругого тела. В рамках линейной теории приводится постановка смешанных динамических задач о взаимодействии жестких штампов и/или электродов с многослойной полуграниченной термоэластопругой средой, содержащей включения и трещины-полости. Для моделирования динамических процессов в многослойных средах с неоднородностями вводится система дифференциальных уравнений второго порядка в частных производных, для которых определяются начальные и краевые условия. Описывается общая схема решения, приводятся формулировки вспомогательных задач, вывод функционально-матричных соотношений в образах Фурье и Лапласа, сведение на основе предварительных построений смешанной начально-краевой задачи к системе матричных интегральных уравнений I рода.

В третьей главе описываются методы построения символов блочных матриц Грина для многослойных термоэластопругих сред без внутренних неоднородностей и при наличии внутренних неоднородностей различной физической природы. Приводится описание алгоритма расширения диапазона устойчивых вычислений символа матрицы Грина. Завершает главу описание основных асимптотических свойств символов блочных матриц Грина для рассматриваемых краевых задач.

Четвертая глава посвящена разработке численно-аналитических методов вычисления двукратных интегралов Фурье, в виде которых может быть представлено решение рассматриваемых в диссертационной работе краевых задач термоэластопругости. Для ближней зоны предложены три метода: метод прямого контурного интегрирования, метод интегрирования вычетов для осесимметричной нагрузки и метод интегрирования вычетов для несимметричной нагрузки. Для дальней зоны предложен метод интегрирования вычетов в дальней зоне и асимптотические представления метода интегрирования вычетов. Для методов прямого контурного интегрирования и интегрирования вычетов в случае чисто упругих сред получены аналитические и численно-аналитические оценки различных параметров методов, доказан ряд важных утверждений.

В пятой главе представлены основные численные результаты, полученные с помощью разработанных в диссертации методов. Рассмотрены примеры различий в применении трех принципов излучения, используемых при построении символа матрицы Грина однородного или многослойного термоэластопругого полупространства: принципа Зоммерфельда, принципа излучения энергии и принципа предельного поглощения, а также пред-

ставлены численные и аналитические обоснования различий в применении данных принципов. Приведены примеры расчета модельных гармонических и нестационарных краевых задач для многослойных анизотропных, электроупругих и термоэлектроупругих сред: механических смещений, электрического потенциала и температуры многослойного термоэлектроупругого пакета, возбуждаемых поверхностными и внутренними механическими, электрическими или тепловыми нагрузками. Внутренние нагрузки соответствуют случаю трещины или включения либо их тепловым или электрическим аналогам.

Дано описание метода и результаты расчета пространственных зон дилатансии (разуплотнения) в упругом слое, вызываемых различными внутренними механическими нагрузками. Представлены примеры решения интегральных уравнений, возникающих в задачах идентификации параметров интерфейсной трещины в упругой полосе и примеры результатов идентификации, приведены некоторые практические выводы и рекомендации по решению задач идентификации трещин в упругой полосе.

Шестая глава посвящена численному моделированию возмущений поверхности упругого слоя, вызываемых подвижным осциллирующим источником поверхностных напряжений. Рассматриваемая упругая среда представляет собой однородный изотропный слой с жестко заземленной нижней гранью. Однородная краевая задача рассматривается в подвижной системе координат, связанной с источником. Задача решается как в плоской, так и в пространственной постановке. Интегральное представление краевой задачи находится с помощью метода прямого контурного интегрирования. Получено большое количество численных результатов, детально исследован режим движения без осцилляций, режим движения с осцилляциями, исследованы приближенные амплитудно-скоростные и амплитудно-частотные характеристики системы «подвижный источник - упругое основание».

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы.

Научную новизну составляют следующие результаты:

1) разработан новый устойчивый численно-аналитический метод построения символа Фурье блочной матрицы Грина многослойной полуограниченной термоэлектроупругой среды с произвольной термоэлектроупругой анизотропией каждого слоя, содержащей внешние и внутренние механические, тепловые и электрические неоднородности;

2) созданы новые численно-аналитические методы и алгоритмы расчета интегральных представлений механических, электрических и тепловых характеристик в виде двукратных интегралов Фурье решений краевых задач термоэлектроупругости для многослойных сред для ближней и дальней зоны при возбуждении колебаний поверхностными и/или внутренними гармоническими источниками в виде трещин или включений: метод прямого контурного интегрирования, метод интегрирования вычетов для осесимметричной нагрузки, метод интегрирования вычетов для несимметричной нагрузки, метод интегрирования вычетов в дальней зоне и асимптотические представления метода интегрирования вычетов;

3) получены аналитические и численно-аналитические оценки различных параметров метода прямого контурного интегрирования и метода интегрирования вычетов, позволяющие оптимизировать процессы вычислений;

4) на основе метода прямого контурного интегрирования разработан новый эффективный подход для расчета возмущений на поверхности изотропного упругого слоя, вызываемых осциллирующим и движущимся с постоянной скоростью поверхностным механическим источником, в широком диапазоне скоростей и частот, как для плоской, так и для пространственной задачи;

5) получены новые численные результаты решения ряда модельных динамических краевых задач теории упругости, электроупругости, термоэлектроупругости для многослойных сред, возбуждаемых поверхностными или внутренними физически разнородными источниками колебаний; решения задач идентификации параметров трещины в упругом слое; решения краевых задач для осциллирующего источника, движущегося по поверхности упругого изотропного слоя; алгоритм и результаты определения пространственных зон дилатансии в упругом слое.

Научное и практическое значение результатов диссертации заключается в возможности качественного и количественного исследования с помощью разработанных методов динамических процессов в многослойных термоэлектроупругих средах при наличии неоднородностей различной физической природы.

Методы построения символов блочных матриц Грина использованы как при реализации механической концепции прогноза сейсмичности, так и при выполнении ряда научных проектов ЮНЦ РАН и Кубанского госуниверситета при решении краевых задач теории упругости, электроупругости, термоэлектроупругости, для построения ядер систем интегральных уравнений термоэлектроупругости.

Методы вычисления двукратных интегралов Фурье представлений решений краевых задач термоэлектроупругости могут применяться при проектировании различных электромеханических и термоэлектрических преобразователей, при создании гибридных композиционных материалов и конструкций из них.

Методы расчета возмущений, вызываемых движущимся источником, имеют теоретическое и прикладное значение для разработки и проектирования высокоскоростных транспортных средств и соответствующей инженерной инфраструктуры, для минимизации вибрационного воздействия на близлежащие наземные и подземные сооружения, окружающую среду.

Алгоритмы решения задачи идентификации параметров интерфейсной трещины в упругом слое могут быть использованы в задачах неразрушающего контроля. Метод расчета пространственных зон дилатансии может найти применение в области геофизики и сейсмологии. Фрагменты выполненной диссертационной работы использованы при выполнении 30 проектов Российского фонда фундаментальных исследований и администрации Краснодарского края.

Результаты диссертации опубликованы в 19 работах в журналах, входящих в базы данных Scopus, Web of Science и рекомендованных ВАК.

Замечания по работе и ее оформлению.

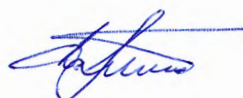
1. В конце каждой из глав диссертации (кроме последней шестой главы) отсутствуют заключения: не сформулированы основные результаты, полученные в данной главе, что затрудняет чтение диссертации.

2. Пятая глава работы перегружена расчетными данными.

Однако сделанные замечания не влияют на общую положительную оценку работы. Диссертация выполнена в рамках паспорта специальности ВАК 01.02.04 — Механика деформируемого твердого тела (п.п. 5,6,7,8). Она соответствует п.п. 9, 10 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. №842 (в ред. постановления Правительства РФ от 21.04.2016 г. №335), а ее автор Сыромятников Павел Викторович заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.04 — Механика деформируемого твердого тела.

Диссертация обсуждена, и отзыв о ней одобрен на заседании кафедры «Соппротивление материалов, динамика и прочность машин» ФГБОУ ВПО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» 15 мая 2017 г., протокол № 6.

Заведующий кафедрой «Соппротивление материалов, динамика и прочность машин» ФГБОУ ВПО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»
д.ф.-м.н., профессор



Тарлаковский Д.В.

125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д.4, А-80, ГСП-3
Телефон: +7 499 158-43-06, e-mail: tdv902@mai.ru