

ОТЗЫВ

официального оппонента Овчинникова Ильи Игоревича
на диссертационную работу Савиновой Елены Владимировны
«Исследование связанных нестационарных термоэлектроупругих полей
в сплошных круглых пластинах»,
представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук
по специальности 1.1.8. Механика деформируемого твёрдого тела

Актуальность темы диссертации. Несмотря на значительные достижения в области материаловедения и физики конденсированных сред, вопрос о корреляции между температурными, деформационными и электрическими полями остаётся недостаточно изученным.

Развитие технологий связано с непрерывным поиском новых современных технологичных материалов. Перспективным и относительно экономичным материалом является пьезокерамика. Однако ее применение осложняется тем, что возникает множество вопросов, связанных с определением напряженно-деформируемого состояния чувствительных элементов из пьезокерамики, работающих под действием температурной нагрузки.

Применение в качестве чувствительных элементов в измерительной технике изделий из пьезокерамического материала в условиях нестационарного изменения температурных полей требует совершенствования методов расчёта и алгоритмов решения задач, направленных на повышение точности и надёжности приборов.

Аналитические подходы, основанные на формулировке функциональных зависимостей, позволяют алгоритмизировать и автоматизировать процессы моделирования для конкретных конфигураций чувствительных элементов, включая тип материала, геометрические параметры и действующие механические нагрузки.

Несмотря на многочисленные экспериментальные и теоретические исследования, до сих пор не сформировано единого понимания механизмов взаимодействия температурных, упругих и электрических полей в материалах. Существующие модели и подходы демонстрируют ограниченную применимость в условиях сложных, неоднородных и динамических воздействий. Выполнение анализа взаимодействия полей различной физической природы, а также полученные выражения для напряжённо-деформированного состояния сплошных круглых однослойных и многослойных пластин позволяют установить закономерности в поведении

С отзывом ознакомлена,
28.08.2025г.

ОГБОУ ВО "СамГТУ"

28.08.2025г.

Вход. № 8/н

чувствительных элементов из пьезокерамического материала, что представляет собой актуальное научное исследование на сегодняшний день.

Структура, объем, форма изложения диссертации и автореферата.

Диссертационная работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Самарский государственный технический университет» на кафедре «Строительная механика, инженерная геология, основания и фундаменты». Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы из 223 наименований, приложений. Работа изложена машинописным текстом на 174 страницах и содержит 86 иллюстраций и 1 таблицу.

Краткое содержание работы.

Во введении раскрывается актуальность темы исследования. Сформулированы цель и задачи исследования. Отмечена научная новизна, практическая значимость, перечислены основные положения, выносимые на защиту, отражён личный вклад автора диссертации.

Первая глава диссертации содержит аналитический обзор исследований современных и зарубежных источников по задачам упругости, термоупругости и термоэлектроупругости. Обоснована необходимость разработки новых аналитических моделей задач, учитывающих в своей постановке связанность нестационарных термоэлектроупругих полей применительно к сплошным круглым пластинам, выполненным из пьезокерамических составов. Рассмотрены исследования различных по геометрической форме элементов по определению их напряженно-деформируемого состояния в зависимости от действующих внешних факторов и целостности элемента. Проведён анализ возможностей использования программных комплексов, способных выполнять прикладные расчёты задач элементов из пьезокерамических материалов. Проанализированы принципы работы существующих преобразователей. Сделаны выводы о необходимости изучения взаимодействия полей, возникающих в пьезокерамическом материале при действии на него температурной нагрузки и совершенствования аналитических расчётов.

Во второй главе диссертации с целью решения поставленных задач автором разработан алгоритм исследования задачи термоэлектроупругости для круглой сплошной однослойной пластины в осесимметричной постановке с учётом времени действия температурной нагрузки при соответствующих заданному жёсткому закреплению элемента краевых условий. Задача решается

в несколько этапов. На первом – применяется ранее разработанное решение и полученный результат задачи по определению температурного поля в элементе. На втором – выполняется исследование задачи термоэлектроупругости при изменяющемся во времени заданном (известном) температурном поле. Решение задач выполняется методами конечных интегральных преобразований. Для установления влияния инерционных характеристик элемента выполнены численные расчёты для нескольких толщин пластин, при этом их диаметр задан как постоянная величина. Численные расчёты приводятся для двух пьезокерамических составов. В результате установлены геометрические размеры исследуемой системы, позволяющие не учитывать инерционные характеристики.

В третьей главе выполняется исследование связанной нестационарной осесимметричной задачи термоэлектроупругости для круглых сплошных элементов из пьезокерамических составов с жёстким закреплением внешнего контура и без учёта влияния инерционных характеристик. Решение задачи выполняется путём последовательного применения метода разделения переменных, с применением в ходе решения биортогонального конечного интегрального преобразования. Определение ядровых функций в задаче и определение выражения для трансформанты нагрузки позволяет получить выражения по определению компонент вектора перемещений, потенциала электрического поля и теплового поля в случае изменения температуры на лицевой поверхности пластины.

В четвертой главе выполняется исследование связанной нестационарной осесимметричной задачи термоэлектроупругости для круглых сплошных элементов из пьезокерамических составов с шарнирным закреплением внешнего контура и без учёта влияния инерционных характеристик. На верхней лицевой поверхности элемента действует изменяющаяся во времени температурная нагрузка, при этом нижняя лицевая поверхность контактирует с окружающей средой. Для решения задачи применяется преобразование Ханкеля и биортогональное конечно-интегральное преобразование. Сделан сравнительный анализ результатов разработанной аналитической модели решения задачи с численными результатами, полученным программным комплексом. Сформулированы выводы, направленные на совершенствование расчётных матриц программы, и на учёт связанности возникающих и действующих в пьезокерамическом элементе полей.

В пятой главе выполняется исследование связанной нестационарной осесимметричной задачи термоэлектроупругости для круглого сплошного многослойного элемента, в котором средний слой выполняется из

пьезокерамического состава, два других внешних слоя из стали и пластика. Элементу задано шарнирное закрепление внешнего контура. Решение задачи строится путём последовательного применения метода Ханкеля и метода биортогонального конечного интегрального преобразования. Числовое решение построенной аналитической модели рассматривает несколько ситуаций, при которых в многослойном элементе фиксируется толщина двух слоёв с изменением толщины третьего слоя. Результаты позволяют устанавливать оптимальные толщины слоёв многослойного пакета при действующей температурной нагрузке.

В заключении диссертационной работы сформулированы основные результаты, выносимые на защиту. Представлен список использованных источников и приложения.

Оценка степени научной новизны результатов диссертации.

К основным результатам диссертационной работы, обладающими научной новизной, относится то, что впервые построены замкнутые решения начально-краевых задач термоэлектроупругости для круглых сплошных пластин из пьезокерамического материала с учётом связанности температурных, упругих и электрических полей. Построены расчетные соотношения, позволяющие описать напряженно-деформированное состояние, определить величину электрического потенциала и теплового поля в случае действия температурной внешней «нагрузки».

Теоретическая и практическая значимость исследования.

Исследование представляет собой значительный вклад в теорию термоэлектроупругости, поскольку оно предоставляет методологическую основу для описания и анализа сложных термоэлектроупругих полей, возникающих в сплошных круглых пластинах, изготовленных из пьезокерамических материалов или содержащих такие слои. Особое внимание уделено случаю неравномерного осесимметричного нестационарного температурного воздействия, что позволяет рассмотреть нестационарные процессы, связанные с тепловым расширением и возникновением электрического поля.

Основные результаты исследования демонстрируют наличие тесной взаимосвязи между внешним тепловым возмущением и индуцируемым электрическим импульсом в пьезокерамических структурах. Эта взаимосвязь имеет фундаментальное значение для понимания механизмов преобразования тепловой энергии в электрическую и может быть использована для разработки

новых типов преобразователей. Практическая значимость работы заключается в создании программного обеспечения, основанного на полученных аналитических решениях. Данный инструмент позволяет существенно сократить временные и ресурсные затраты на проектирование измерительных и контрольных устройств, обеспечивая высокую точность и надёжность расчётов. Разработанное программное обеспечение нашло своё применение проектными структурами ООО «СМР-Проект» для решения сложных инженерных задач, связанных с анализом и оптимизацией термоэлектроупругих систем.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, рекомендаций, заключений и выводов.

Научные положения, выводы и рекомендации, полученные при решении линейных краевых задач, основаны на применении конечных интегральных преобразований, которые являются наиболее общей формой метода разделения переменных, позволяющие построить новые замкнутые решения. Основные результаты полностью отражены в 13 изданиях, среди которых 4 публикации в научных журналах из перечня ВАК РФ. Диссертация прошла достаточную апробацию, докладывалась на различных семинарах, всероссийских и международных научно-технических конференциях. Исследования не противоречат исследованиям других авторов.

Соответствие работы требованиям, предъявляемым к диссертации и паспорту специальности.

Диссертационная работа Савиновой Е. В. по теме и содержанию соответствует научной специальности 1.1.8. Механика деформируемого твёрдого тела по следующим пунктам ее паспорта:

1. Законы деформирования, повреждения и разрушения материалов, в том числе природных, искусственных и вновь создаваемых.
2. Задачи теории упругости, теории пластичности, теории вязкоупругости.
3. Динамика деформируемого твёрдого тела. Теория волновых процессов в средах различной структуры.
4. Математическое моделирование поведения дискретных и континуальных деформируемых сред при механических, тепловых, электромагнитных, химических, гравитационных, радиационных и прочих воздействиях.
5. Вычислительная механика деформируемого твёрдого тела.

Замечания и рекомендации по диссертационной работе.

По диссертационной работе имеются следующие замечания:

1. В работе сделан вывод, что скорость изменения объёма тела, выполненного из пьезокерамического материала, не оказывает влияние на температурное поле, т.е. можно рассматривать несвязанную задачу термоэлектроупругости. И при решении задачи электроупругости необходимо просто более точно аппроксимировать температурное поле, что приведет к существенному упрощению алгоритма расчета;

2. В работе рассматривается частный случай деформирования пластины, когда в качестве «нагрузки» выступает функция изменения температуры на лицевой поверхности. И почему-то не рассматривается не менее часто встречающийся случай при работе тепловых преобразователей, когда на поверхности элемента удовлетворяются нестационарные граничные условия 2-го и 3-го родов;

3. В начальных условиях несвязанной краевой задачи (условия (4) автореферата) скорости изменения компонент вектора перемещений равны нулю, что не совсем корректно при наличии скорости изменения температуры на лицевой поверхности в начальный момент времени (формула (8) автореферата);

4. Численные результаты расчета во всех задачах выполнены при использовании только одной зависимости изменения температуры на лицевой поверхности. Это накладывает определенные ограничения на возможность анализа связанности полей.

Указанные замечания в целом не влияют на общую положительную оценку диссертации.

Заключение по диссертации. Диссертационная работа Савиновой Елены Владимировны на тему «Исследование связанных нестационарных термоэлектроупругих полей в сплошных круглых пластинах» является завершённым научно-квалифицированным трудом, выполненным на достаточно высоком научном уровне. Диссертация содержит важное научное решение задачи термоэлектроупругости в связанной постановке для круглых сплошных пластин из пьезокерамического материала в случаях действия нестационарной температурной нагрузки и различных закреплений наружного периметра пластины.

Считаю, что по актуальности, научной новизне и практической значимости научно-технических результатов, их достоверности и обоснованности, уровню апробации и опубликования диссертационная работа Савиновой Елены Владимировны соответствует требованиям документа

«Положение о присуждении учёных степеней», утверждённого Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор, Савинова Елена Владимировна, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела.

Даю согласие на обработку моих персональных данных.

Официальный оппонент,

Овчинников Илья Игоревич.

Доктор технических наук по специальности 2.1.9. Строительная механика, технические науки, доцент, доцент кафедры «Транспортное строительство» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», т. +7 (904) 244 – 90 - 43, e-mail: bridgeart@mail.ru.

Овчинников Илья Игоревич

«22» августа 2025 г.

Почтовый адрес: 410054, Саратовская область, г. Саратов,
ул. Политехническая, д. 77, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный
технический университет имени Гагарина Ю. А.»
т. +7 (8452) 99-88-11, e-mail: prrector@sstu.ru.

Должность, ученую степень, ученое звание и подпись Овчинникова Ильи Игоревича заверяю:

Ученый секретарь Ученого совета
федерального государственного
бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Саратовский государственный
технический университет имени
Гагарина Ю.А.»



Потапова Анжелика Владимировна