

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной и исследовательской
деятельности ФГАОУ ВО
«Южный федеральный университет»,
доктор химических наук
_____ А.В. Метелица



«11» __сентября__ 2023 года

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южный федеральный университет» о диссертации Кальмовой Марии Александровны «Нестационарная механика радиальных осесимметричных термоэластостатических полей в длинном пьезокерамическом цилиндре» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.1.8.- Механика деформируемого твердого тела

Актуальность темы выполненной работы

В последние годы наиболее интенсивно и динамично развивающимся направлением в технике является разработка измерительных приборов, работа которых основана на эффекте связанности полей различной физической природы. В частности, широко используются конструкции, изготовленные из пьезоактивных материалов, которые подвержены неравномерному нестационарному нагреву. Для исследования их деформирования, а также повышения функциональных возможностей используются различные теории термоэластостатики, позволяющие исследовать проблему расчета полей и оптимизации геометрических параметров.

При этом математическая формулировка рассматриваемых задач, даже в линейной постановке, включает в себя связанные дифференциальные уравнения движения, электростатики и теплопроводности и соответствующие граничные условия. Проблема интегрирования соответствующих краевых или начально-краевых задач и построение общего решения приводит к исследованию непростых математических проблем механики связанных полей (стационарных задач термоэластостатики или анализу несвязанных нестационарных задач. Можно отметить, что в настоящее время не разработана общая теория расчета пьезокерами-

ческих тел конечных размеров на нестационарное температурное воздействие. В рамках решения данной проблемы в диссертационной работе предложен новый подход при расчете физических полей для длинного полого пьезокерамического цилиндра с учетом связанности температурных, электрических и упругих полей в случае нестационарного осесимметричного температурного воздействия в рамках плоской постановки. Это позволяет выявить новые связи между температурным полем, процессом деформирования и величиной индуцируемого электрического поля.

Таким образом, тематика исследования, проведенного Кальмовой М.А., важна при изучении связанных задач механики деформируемого твердого тела и находится в тесной связи с приоритетами технологического, технического и экономического развития России, что подтверждает актуальность выбранной темы диссертационного исследования.

Структура и содержание диссертационной работы

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка используемой литературы из 123 источников и 3 приложений общим объемом 142 страницы, содержит 106 рисунков, 2 таблицы.

Во введении приведено обоснование актуальности темы диссертационной работы, представлено краткое изложение содержания работы.

В первой главе дан обзор литературы и современного состояния моделей термоупругости и решенных задач.

Во второй главе представлены постановка и решение несвязанной динамической осесимметричной задачи термоупругости для длинного полого пьезокерамического цилиндра в плоской постановке при задании на его внутренней поверхности нестационарной температурной нагрузки. В такой постановке решение построено с помощью конечного интегрального преобразования Ханкеля применительно к задаче теплопроводности, определяется температурное поле. Далее решается задача термоупругости с учетом известного температурного поля. Сформулированы практические рекомендации, позволяющие для исследуемого объекта определить скорость изменения внешней температурной нагрузки, при которой в расчетах для получения достаточно точного решения необходимо учитывать динамические эффекты.

Третья глава посвящена решению связанной динамической осесимметричной задачи термоупругости для исследуемого объекта в случае задания на его цилиндрических поверхностях нестационарной нагрузки. Решение сформулированной задачи строится с помощью использования вырожденного обобщенного конечного интегрального преобразо-

вания, которое позволяет определить напряженно-деформированное состояние с учетом связанности термоэлектроупругих полей.

Четвертая глава посвящена построению решения связанной квазистатической осесимметричной задачи термоэлектроупругости для кольцевой области без учета сил инерции в случае задания на его границе нестационарной нагрузки с помощью граничных условий 1-го рода. Решение поставленной начально-краевой задачи строится на использовании вырожденного биортогонального интегрального преобразования. Произведен анализ влияния скорости изменения объема тела на температурное и электрическое поля.

В пятой главе исследована несвязанная задача обратного пьезоэффекта при воздействии на лицевых поверхностях разности потенциалов при заданной температуре окружающей среды. Решение задачи последовательно строится в два этапа, причем на первом с помощью вырожденного обобщенного конечного интегрального преобразования решается задача электроупругости без учета изменения температуры, а на втором изучена задача теплопроводности с учетом найденных на предыдущем этапе полей перемещений и электрического потенциала. Представлены результаты вычислительных экспериментов.

В заключении сформулированы основные результаты, выносимые на защиту.

Достоверность результатов, полученных в диссертации Кальмовой М.А., базируется на строгих постановках нестационарных задач термоэлектроупругости для цилиндрических тел, на использовании апробированных математических методов построения решения сформулированных нестационарных начально-краевых задач, сравнением аналитических решений с результатами, полученных с помощью метода конечных элементов в пакете ANSYS.

Автореферат в полной мере соответствует содержанию диссертации, правильно и достаточно полно отражает ее основные положения и результаты.

Научная ценность результатов диссертационного исследования

Характеризуя работу Кальмовой М.А. в целом, следует отметить достаточно тщательную теоретическую проработку и большое число вычислительных экспериментов. Выводы, представленные в работе, основаны на анализе результатов решений ряда новых задач термоэлектроупругости для кольцевых областей при различных типах граничных условий.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующих положениях, связанных с расчетом длинного пьезокерамического цилиндра в рамках гиперболической теории термоэлектроупругости:

1. Построено замкнутое решение несвязанной динамической осесимметричной задачи термоэлектроупругости для кольцевой области при удовлетворении различных типов граничных условий .

2. Получено замкнутое решение связанной динамической осесимметричной задачи термоэлектроупругости

3. Построено новое замкнутое решение связанной нестационарной осесимметричной задачи термоэлектроупругости без учета инерционных сил

4. Разработана методика расчета несвязанной динамической осесимметричной задачи при подведении разности потенциалов

5. Проанализировано влияние температурного поля на напряженно–деформированное состояние и электрическое поле пьезоэлемента.

Для решения поставленных линейных краевых задач использованы конечные интегральные преобразования, позволяющие построить замкнутые решения исследуемых начально–краевых задач.

Теоретическое значение диссертации состоит в том, что разработанная методика расчета позволяет изучить и проанализировать взаимосвязь полей различной физической природы в длинном пьезокерамическом цилиндре при внешнем осесимметричном нестационарном температурном «воздействии» (граничные условия 1-го и 3-го рода) в плоской постановке. Полученные замкнутые решения дают возможность выявить новые закономерности при исследовании термоэлектроупругих полей, что позволит существенно повысить точность инженерных расчетов.

Построенные расчетные соотношения были реализованы с помощью разработанных автором комплекса программ в системе MathCAD–15. Осуществлено сравнение с аналогичными данными, полученные с помощью программного комплекса ANSYS. При сравнении результатов, полученных с помощью различных методов, сделан вывод, что реализация метода конечного элемента достаточно точно позволяет описать работу нерезонансных преобразователей энергии только при действии стационарного температурного поля, а при исследовании нестационарного процесса необходимо использовать замкнутые решения.

Таким образом, основные научные результаты, полученные Кальмовой М.А., можно считать обоснованными, оформленными должным образом и в целом отвечающими требованиям ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Достоверность выводов и предложений соискателя не вызывает сомнений.

В исследовании при математическом моделировании использованы апробированные расчетные соотношения механики деформируемых твердых тел. Полученные результаты численных экспериментов согласуются с данными многочисленных тестовых расчетов и

экспериментальных исследований, а также с результатами, полученными в частных случаях аналитическими методами и другими исследователями. Достоверность обеспечивается строгостью, в рамках сформулированных допущений, математической постановки и методами решения рассматриваемых нестационарных задач термоэлектроупругости.

По теме диссертации опубликовано 17 научных работ, из них 3 работы в рецензируемых журналах ВАК, 5 работ в рецензируемых журналах, индексируемых в базах Scopus и Web of Science. Основные положения и результаты выполненных исследований докладывались и обсуждались на международных, всесоюзных и всероссийских научно-практических конференциях.

Таким образом, полученные в диссертации выводы и результаты, сделанные автором, научно обоснованы и достоверны.

По диссертационной работе имеются следующие замечания

1. В диссертационной работе и автореферате автор пишет о длинном цилиндре, хотя его размеры в осевом направлении нигде не фигурируют и всюду исследуются плоские задачи. Обоснование такого приближения отсутствует, в том числе и обсуждение влияния температурных граничных условий на торцах цилиндра. Отметим также, что с точки зрения практики гораздо более важны такого рода исследования не для длинных цилиндров, а для тонких дисков.
2. Неясно, для чего использована гиперболическая модель в температурной задаче и насколько это важно для расчета конкретных преобразователей.
3. В диссертации для модельных расчетов используется только один закон изменения тепловой нагрузки (2.45). Следовало бы провести серию расчетов, в которых использовались другие законы нагружения.
4. Имеется ряд технических замечаний по оформлению работы.
 - а) так, в содержании обозначена лишь глава 2
 - б) неясно, что же автор понимает под термоэлектроупругими телами «конечной жесткости» с.24

Указанные выше замечания не влияют на в целом положительную оценку диссертационной работы Кальмовой М. А.

Практическая ценность результатов исследования

Практическая значимость работы определяется возможностью создания программного комплекса, на основании разработанных алгоритмов расчета, для проектирования преобразующих пьезокерамических элементов в виде длинного полого цилиндра, входящих в состав из-

мерительных устройств, в случае действия внешнего температурного и электрического воздействия. Полученные результаты позволяют также обосновать и наметить рациональную программу экспериментов, что значительно сократит объем дорогостоящих натурных исследований.

Результаты выполненных исследований нашли применение в инженерных расчетах, выполняемых проектным отделом ООО «СамараГазСтрой» при проектировании преобразующего элемента пьезоэлектрического актюатора.

Научные результаты и выводы диссертации Кальмовой М.А. могут быть использованы в проектных институтах и образовательных организациях при формировании учебно-методических материалов по дисциплинам, включающим разделы механики связанных полей, в частности, теорий термоэластостатики.

Соответствие работы требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям

На основании изложенного можно заключить, что диссертация Кальмовой М.А. «Нестационарная механика радиальных осесимметричных термоэластостатических полей в длинном пьезокерамическом цилиндре» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную на актуальную тему, имеющую теоретическое и практическое значение. Результаты, полученные диссертантом, отвечают критериям научной новизны и имеют значение для развития приборостроения, машиностроения, авиации, кораблестроения, космической техники.

Диссертация соответствует п. 8. «Динамика деформируемого твёрдого тела. Теория волновых процессов в средах различной структуры»; п. 11. «Математическое моделирование поведения дискретных и континуальных деформируемых сред при механических, тепловых, электромагнитных, химических, гравитационных, радиационных и прочих воздействиях»; п. 12. «Вычислительная механика деформируемого твёрдого тела» паспорта специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела ВАК Министерства науки и высшего образования РФ.

Диссертационная работа Кальмовой Марии Александровны является самостоятельной выполненной законченной научно-квалификационной работой, в которой изложен новый теоретический подход по решению проблемы расчета термоэластостатических полей в случае действия внешней нестационарной осесимметричной температурной нагрузки.

Отмеченное дает основание полагать, что диссертационная работа Кальмовой Марии Александровны, выполненная на тему «Нестационарная механика радиальных осесимметричных термоэластостатических полей в длинном пьезокерамическом цилиндре», соответству-

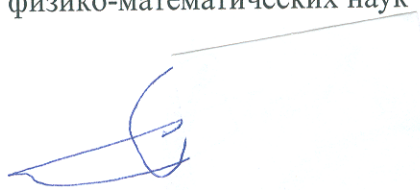
ет требованиям п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, а ее автор, Кальмова Мария Александровна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела.

Отзыв подготовлен Заслуженным деятелем науки РФ, доктором физико-математических наук (01.02.04), профессором, заведующим кафедрой теории упругости Института математики, механики и компьютерных наук им. И. И. Воровича Южного федерального университета Ватульяном Александром Ованесовичем

344090, г. Ростов-на-Дону, ул. Мильчакова, 8а Институт математики, механики и компьютерных наук им. И.И. Воровича, тел. 8-918-58-96-075, e-mail: aovatulyan@sfedu.ru

Отзыв ведущей организации на диссертацию Кальмовой Марии Александровны, выполненной на тему «Нестационарная механика радиальных осесимметричных термоэлектроупругих полей в длинном пьезокерамическом цилиндре» обсужден и утвержден на заседании кафедры теории упругости Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южный федеральный университет», на котором присутствовало 12 сотрудников, результаты голосования «за» - 12, «против» - нет, «воздержалось» - нет, протокол №1 от «1 сентября» 2023 года.

Заведующий кафедрой теории упругости
Института математики, механики и компьютерных
наук им. И. И. Воровича Южного федерального университета,
профессор, доктор физико-математических наук



Ватульян Александр Ованесович

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Личную подпись Ватульяна А.О.

ЗАВЕРЕНО:

Главный специалист по управлению персоналом
И.И. Подшивалова И.И.
«7» сентября 2023 г.