

Отзыв официального оппонента
на диссертацию Сероштанова Александра Владимировича
**«РЕШЕНИЕ КРАЕВЫХ ЗАДАЧ ЭЛЕКТРОМАГНИТОУПРУГОСТИ
ДЛЯ ОДНОРОДНЫХ МНОГОСВЯЗНЫХ ТОНКИХ ПЛИТ»,**
представленную на соискание учёной степени кандидата
физико-математических наук по специальности
1.1.8.-механика деформируемого твердого тела

Изучение упругого состояния элементов конструкций является актуальным направлением исследований в механике деформируемого твердого тела. При этом в рамках этого направления весьма важной задачей является изучение упругого состояния тонких пластин, работающих в условиях изгиба и обладающих пьезосвойствами.

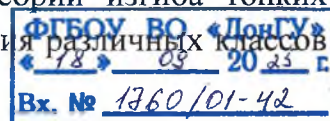
Действительно, учет пьезосвойств весьма важен при определении напряженно-деформированного состояния многих современных конструкций, так как без их учета значения расчетных основных характеристик электромагнитоупругого состояния (ЭМУС) (механических изгибающего и крутящего моментов, моментов электрической и магнитной индукций, перерезывающих сил) в тонких плитах значительно отличаются от реальных.

Предметом исследования в диссертации является изучение закономерностей распределения моментов (напряжений) в элементах конструкций из пьезоматериалов. В связи с этим можно считать диссертационное исследование Сероштанова А. В., посвященное изучению электромагнитоупругого состояния (ЭМУС) тонких пьезоплит весьма актуальным.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка литературы из 212 источников и двух приложений.

Во введении представлена информация о цели, задачах, научной новизне, актуальности работы, теоретической и практической ее значимости. Приведены сведения об апробации работы, структуре и объеме диссертации, о публикациях по теме диссертации и личном вкладе диссертанта.

В первом разделе диссертации дан аналитический обзор известных в литературе публикаций по теме диссертации и смежным темам, описаны формирование и развитие физических представлений и математических моделей магнитоэлектрического эффекта, создание моделей электроупругости, магнитоупругости и электромагнитоупругости. Представлен подробный анализ работ по исследованию ЭМУС тонких пьезопластин в условиях обобщенного плоского напряженного состояния и работ для сплошных тонких плит. Указано, что решения практически важных задач по изгибу тонких многосвязных плит можно получить, используя комплексные потенциалы теории изгиба тонких электромагнитоупругих плит. Отмечено, что методы решения



задач с использованием комплексных потенциалов не разработаны, не получены решения конкретных практически важных задач, не исследованы закономерности влияния различных характеристик пьезоплит на значения основных характеристик ЭМУС. На этой основе еще раз отмечена актуальность темы и классы решенных в диссертации задач.

Во втором разделе работы представлены гипотезы и постановки краевых задач теории изгиба тонких электромагнитоупругих плит, основные соотношения для комплексных потенциалов, выражения через них основных характеристик ЭМУС плит, граничные условия для определения комплексных потенциалов, общие представления этих функций для многосвязных областей. Показано, как из общей задачи электромагнитоупругости (ЭМУ) следуют как частные задачи электроупругости (ЭУ), когда не учитываются магнитные свойства, магнитоупругости (МУ), когда не учитываются электрические свойства, и классической теории упругости (ТУ), когда не учитываются ни электрические, ни магнитные свойства. В этом же разделе методом рядов получены точные аналитические решения задач об изгибе эллиптической плиты и бесконечной плиты с эллиптическим отверстием или трещиной. Описаны результаты численных исследований, с помощью которых изучено влияние на ЭМУС плит физико-механических свойств их материалов. Численными исследованиями установлено, что при учете электрических и магнитных свойств материала плиты значения изгибающих моментов существенно отличаются от их значений без учета этих свойств, в задаче ТУ.

В третьем разделе диссертации дано решение задачи для многосвязной пьезоплиты с эллиптическими отверстиями и трещинами при произвольном их количестве, сочетании и расположении.

Получены общие представления комплексных потенциалов, содержащие известные члены и ряды, степенные и Лорана, по отрицательным степеням, с неизвестными коэффициентами, для определения которых из граничных условий на контурах плиты обобщенным методом наименьших квадратов получена переопределенная система линейных алгебраических уравнений. Система решается методом сингулярного разложения. После решения системы по известным комплексным потенциалам находятся основные характеристики ЭМУС плиты в любых точках.

Полученное решение реализовано для решения ряда частных задач. Рассмотрены задачи для круговой плиты с отверстиями, трещинами или выемами при действии изгибающих моментов по внешнему контуру плиты; бесконечной плиты с двумя эллиптическими отверстиями или трещинами, с круговым отверстием и внутренней или краевой трещиной; для бесконечной плиты с периодическим рядом круговых отверстий или трещин, двоякопериодической системой круговых отверстий. В работе полученные результаты приведены в

таблицах и на рисунках, дан анализ изменений основных характеристик ЭМУС плит в зависимости от геометрических характеристик отверстий и трещин, физико-механических свойств материалов плит. И для многосвязных плит автор делает вывод о значительном влиянии пьезосвойств материала плиты на значения изгибающих моментов, особенно в зонах перемычек между их концентраторами. Определено, при каких расстояниях между контурами, влиянием одного отверстия на ЭМУС около другого не значительно, т.е. им можно пренебречь и считать плиту ослабленной одним отверстием.

В четвертом разделе диссертации дано решение задач об изгибе электромагнитоупругих многосвязных полуплоскости и полосы. Сперва рассматривается случай полуплоскости с внутренними отверстиями и трещинами. Полуплоскость загружена или подкреплена по некоторому отрезку $[c, d]$ прямолинейной границы, по контурам отверстий. Методом интегралов типа Коши получены общие представления комплексных потенциалов, точно удовлетворяющие граничным условиям на прямолинейной границе и содержащие неизвестные коэффициенты разложений функций в ряды Лорана, определяемые из граничных условий на контурах отверстий обобщенным методом наименьших квадратов. На этой основе для более общего случая, когда контуры отверстий могут пересекать прямолинейную границу, выбраны общие представления комплексных потенциалов. В последнем случае для определения неизвестных коэффициентов рядов обобщенный метод наименьших квадратов используется для удовлетворения граничным условиям как на контурах отверстий, так и в точках отрезка прямолинейной границы, где влияние отверстий на ЭМУС плиты значительно. В этом же разделе последний подход решения задач распространен на случай полосы с отверстиями и трещинами.

Численные исследования проведены для полуплоскости с круговым отверстием или трещиной, в том числе выходящими на границу (случай полуплоскости с выемом), для полуплоскости с круговым отверстием и внутренней трещиной в перемычке, с круговым отверстием и краевой трещиной в перемычке, в том числе выходящей на границы (случай полуплоскости с отверстием и разрезом в перемычке). Аналогичные исследования выполнены для полосы с круговым отверстием, в том числе выходящим на границу, и для полосы с отверстием и краевой трещиной в перемычке, также с выходом на границу. Во всех задачах исследовано влияние геометрических характеристик и физико-механических свойств материалов на значения основных характеристик ЭМУС и коэффициентов интенсивности моментов (КИМ). Установлено, что при сближении отверстий (трещин) с прямолинейными границами значения указанных величин резко возрастают. Наличие второй границы (в случае полосы) значительно увеличивает эти показатели. Установлено, что значения изгибающих моментов существенно зависят от учета пьезосвойств материала, особенно в

зонах высокой концентрации изгибающих моментов, поэтому в таких случаях необходимо решать задачу электромагнитоупругости, а не ограничиваться только задачей теории упругости об изгибе плиты.

В заключении приведены основные результаты, полученные в диссертационном исследовании, сформулированы выводы. Отметим наиболее важные результаты

В результате проведенных в диссертационной работе исследований разработаны методы решения задач об изгибе электромагнитоупругих тонких плит, даны их приложения к решениям различных классов задач для односвязных и многосвязных конечных и бесконечных плит, для полуплоскости и полосы с отверстиями, трещинами и выемами. Численными исследованиями установлена эффективность разработанных методов решения различных классов задач, устойчивость и достоверность получаемых результатов. Проведены численные исследования по решению ряда задач, с помощью которых установлены новые закономерности влияния на значения основных характеристик ЭМУС физико-механических свойств материалов рассматриваемых плит, их геометрических характеристик.

**Степень обоснованности и достоверности научных достижений,
выводов, сформулированных в диссертации**

Достоверность результатов диссертации Сероштанова А.В. обусловлена корректной математической постановкой задач, использованием проверенных математических и численных методов решения краевых задач; высокой степенью точности удовлетворения граничных условий краевых задач, проверяемых в многочисленных точках границ, согласованием отдельных результатов с известными в литературе для частных задач теории упругости или электроупругости.

**Научная новизна основных результатов работы,
их теоретическая и практическая значимость**

Получены, проанализированы и использованы точные аналитические решения задач для конечных и бесконечных односвязных пьезоплит.

Решения задач для конечных и бесконечных многосвязных пьезоплит сведены к переопределенным системам линейных алгебраических уравнений, которые решаются с помощью метода сингулярного разложения.

С использованием метода интегралов типа Коши получены общие представления комплексных потенциалов, которые точно удовлетворяют граничным условиям на прямолинейной границе многосвязной пьезополуплоскости, с последующим нахождением комплексных потенциалов задачи удовлетворением условиям на контурах внутренних отверстий и трещин обобщенным методом наименьших квадратов.

Предложена методика удовлетворения граничным условиям обобщенным методом наименьших квадратов на всех границах многосвязных полуплоскости и полосы, что позволяет решать задачи не только для случаев внутренних отверстий и трещин, но и когда они пересекают прямолинейные границы.

Установлен ряд новых механических закономерностей, отражающих влияние физико-механических свойств материалов плит, их геометрических характеристик и способов внешнего воздействия на основные характеристики ЭМУС.

Апробация результатов диссертационного исследования

По материалам диссертации опубликовано 11 статей в рецензируемых изданиях (журналы 1) Известия РАН. МТТ (1 публикация), 2) Прикладная механика и техническая физика (2 публикации), 3) Вестник ПНИПУ. Механика (2 публикации), 3) Вестник Донецкого национального университета. Сер. А. Естественные науки (3 публикации), 4) Журнал теоретической и прикладной механики (3 публикации).), а также 10 публикаций в сборниках конференций и тезисов докладов.

В качестве замечаний по диссертации отмечу следующие:

1. Пьезоустройства применяются, в основном, в динамических режимах, но в работе рассматриваются статические задачи.

2. На практике пьезоустройства используются в двух основных режимах: в первом на электроды подается разность потенциалов, которая вызывает деформацию, колебания устройства (датчики); во втором под действием внешних нагрузок (механических, магнитных) на электродах индуцируются заряды или токи в электрических цепях (сенсоры, пьезоэлектрические генераторы), однако в работе не рассматриваются граничные условия, связанные с электродами (лицевые поверхности свободны от электродов, в силу принятых гипотез, на боковых границах принято, что потенциалы линейны).

3. В реальных случаях тонкие плиты изгибаются под действием усилий, приложенных по различным площадкам оснований вне контуров отверстий, или под действием сосредоточенных сил. Было бы интересно при проведении численных исследований рассматривать такие случаи, что не сделано в работе.

4. При проведении численных исследований автор в основном останавливался на задачах электромагнитоупругости. Но в связи с потребностями современной науки и техники в последние десятилетия большое внимание уделяется исследованиям по электроупругости, в том числе исследованию электроупругого состояния тонких плит. Поэтому при проведении численных исследований следовало бы больше внимания уделить задачам электроупругости.

5. При проведении численных исследований автор больше останавливался на случаях плит с круговыми или эллиптическими отверстиями или трещинами. А

чаще всего на практике встречаются случаи плит с криволинейными отверстиями, что следовало бы исследовать в диссертационной работе.

6. В соотношениях (2.9) в левых частях отсутствует аргумент z

Отмечу, что сделанные замечания носят характер пожеланий и не влияют в целом на положительную оценку диссертации Сероштанова А.В.

Автореферат диссертации правильно и полно отражает содержание диссертационного исследования. Диссертация **соответствует** паспорту специальности 1.1.8 – механика деформируемого твердого тела.

Резюмируя, считаю, что диссертационное исследование Сероштанова А.В. «Решение краевых задач электромагнитоупругости для однородных многосвязных тонких плит» является самостоятельным законченным квалификационным научным исследованием и удовлетворяет требованиям «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК РФ, утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г., предъявляемых к кандидатским диссертациям по специальности 1.1.8 – механика деформируемого твердого тела, а её автор – Сероштанов А.В. – заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук по этой специальности.

Официальный оппонент Соловьев Аркадий Николаевич, профессор кафедры математики и физики Государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования Республики Крым "Крымский инженерно-педагогический университет имени Февзи Якубова", доктор физико-математических наук (специальность 01.02.04 (1.1.8) Механика деформируемого твердого тела)

Контактные данные:

тел.: +7 (3652) 24-94-95,

e-mail: solovievarc@gmail.com

Адрес места работы:

295015, Республика Крым, г. Симферополь, пер. Учебный, 8, Россия

Крымский инженерно-педагогический университет имени Февзи Якубова,

кафедра «Математики и физики»

<http://kipu-rc.ru>

телефон: +7 (3652) 24-94-95

e-mail: km@kipu-rc.ru

Согласен на обработку персональных данных

28.08.2025 г.

Подпись доктора физико-математических наук, доцента, профессора кафедры «Математики и физики» Соловьева Аркадия Николаевича удостоверяю:

Ученый секретарь Ученого совета КИПУ

имени Февзи Якубова,

кандидат технических наук, доцент

28.08.2025

Сададин Асанович Феватов