

## УТВЕРЖДАЮ

проректор по научной работе  
и инновационной деятельности  
Донского государственного  
технического университета  
к.т.н., доцент О.О. Полушкин



«28» 11 2018 г.

## О Т З Ы В

ведущего научного учреждения (федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный технический университет») на диссертацию Е. С. Кисель «Динамические задачи термоупругости для кусочно-неоднородных тел с негладкой границей», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела

### **Актуальность для науки и практики**

Считая науку важнейшей отраслью экономики, фокус внимания при проведении исследований следует смещать на их актуальность и практическую значимость. В современной технике широкое применение находят изделия и элементы конструкций кусочно-однородной структуры. Функциональное назначение составляющих материалов, разная природа приводит к большой разнице в физико-механических и прочностных характеристиках. Простое осреднение при нахождении необходимых характеристик кусочно-однородной среды может привести к неверному представлению поведения изучаемого объекта. Физико-механические свойства кусочно-однородных объектов зависят от типа образующих материалов, их количественного соотношения, геометрического вида и структуры компонент, способа их соединения. С одной стороны, в этом

проявляется одно из основных достоинств неоднородности, состоящее в том, что, комбинируя исходные компоненты и технологию, можно получить изделие, обладающее желаемыми механическими и прочностными характеристиками. Но с другой стороны, в этом же заключена и основная трудность в изучении таких объектов, так как возникает необходимость подробного учета каждой особенности, всех характеристик составляющих материалов, сопутствующих факторов и их взаимосвязи, что при расчетах больших конструкций приводит к вычислительным трудностям, а при использовании стандартных подходов часто бывает невозможным.

Также при изготовлении и эксплуатации подобного рода объектов, они подвергаются воздействию различных внешних и внутренних факторов, при этом во всей структуре конструкции или в ее отдельных частях могут происходить процессы различной физической природы и, как следствие, возникать определенные дефекты строения. Все это необходимо учитывать при оценке прочности и надежности таких технических систем как на этапе их разработки и проектирования, так и для прогнозирования их длительной и безопасной эксплуатации.

Поэтому изучение напряженно-деформированного состояния кусочно-однородных тел с учетом их структуры, внешних нагрузок и собственных напряжений, является экономически и технически актуальной и чрезвычайно важной научной проблемой. Это является причиной значительной заинтересованности отечественных и зарубежных ученых в таких исследованиях и разработке эффективных методов их проведения, в частности, широкого использования при этом современных средств математического моделирования и вычислительной техники.

Значительные результаты автором получены при исследовании, наиболее уязвимых в плане прочности участков кусочно-однородной области, – границ соединений составных частей области, обладающих различными термомеханическими свойствами. Предлагаемые автором методы дают возможность моделировать достаточно сложные процессы в связке структура-

нагружение и прогнозировать степень влияния конкретных факторов на прочность кусочно-однородных термоупругих областей, а также выявлять потенциально опасные зоны с точки зрения концентрации напряжений для реальных составляющих и нагружения объекта.

### **Основные научные результаты и их значимость для науки и производства**

Основные научные результаты, полученные автором:

1. Разработана физико-математическая модель процесса установившихся симметричных колебаний конечных изотропных термоупругих кусочно-неоднородных областей.
2. Математически обоснована возможность распространения алгоритма метода суперпозиции для расчёта в рамках теории плоской деформации конечных термоупругих кусочно-неоднородных областей с определением характера динамического НДС в окрестности особых точек (ОТ), в которых нарушается гладкость границы или происходит смена типов граничных условий. Получены численно-аналитические решения граничных задач термоупругости для плоских однородных и кусочно-однородных областей.
3. Введена прочностная характеристика - параметр локальной особенности по термоупругим напряжениям, характеризующий математический характер разрыва напряжений в ОТ сечения и определяющий величину концентрации напряжений, как во ОТ внешней, так и внутренней границы сечения деталей.
4. Проведено: исследование зависимости краевых и граничных динамических эффектов от температурных, упругих и геометрических параметров, определяющих неоднородность области. Определены особенности распределения термоупругих напряжений в зонах динамических эффектов на примере неоднородной термоупругой прямоугольной области.

**Значимость для науки** результатов исследований заключается в том, что применение метода суперпозиции в данной работе можно рассматривать как обобщающий методологический подход, расширяющий возможности исследований напряженно-деформированного состояния неоднородных областей,

что подтверждается теоретико-численным анализом и приведенным решением рассматриваемой связанной задачи термоупругости в окрестности нерегулярных точек или линий границы области.

**Обоснованность научных положений**, рекомендаций и **достоверность** результатов исследований подтверждаются обоснованностью применяемого математического аппарата, адекватной физической и математической постановками задач, корректным использованием математических методов, проверкой их сходимости, применением сертифицированной программы конечно-элементного анализа ANSYS для проведения численного исследования, сравнением результатов аналитических и численных решений, непротиворечивости полученных результатов известным решениям, найденным другими авторами для неоднородных термоупругих тел.

**Практическая значимость** работы состоит в возможности использования разработанной математической модели для решения частных задач на различных стадиях создания конструкций машиностроительного назначения, а также при проведении прочностных расчетов динамического НДС элементов конструкций и деталей машиностроения со сложными физико-механическими свойствами.

Практически обосновано представление математической модели в виде совокупности параметров, которые возможно варьировать: отражающих геометрическую форму и структуру объекта, механические свойства моделируемой конструкции, и внешних воздействий, что в анализе прочностных характеристик может оказать положительное влияние на рекомендации по подбору материалов, составляющих сечение детали, а также оптимизировать геометрические параметры составного сечения.

В прикладном аспекте актуален учёт практических рекомендаций по снижению уровня термоупругих напряжений в элементах машиностроительных конструкций при оценке прочности и надежности технических систем, - как на этапе их разработки и проектирования, так и для прогнозирования их длительной и безопасной эксплуатации.

## **Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации**

Полученные результаты могут быть рекомендованы для применения в инженерной практике при проектировании составных и композитных элементов конструкций в условиях эксплуатационных и технологических термо-силовых воздействий (например, при разработке рекомендаций по снижению термических напряжений в узлах, выполненных из материалов с существенно различными коэффициентами теплового расширения). Не менее перспективным видится использование предлагаемых аналитических подходов в теоретических исследованиях при разработке и использовании методов решения задач механики деформируемого твердого тела (например, при подборе оптимальных параметров, базисных функций и т. д. известных приближенных методов; для обоснования работоспособности численных схем при анализе слабых, трудно идентифицируемых динамических, термомеханических эффектов).

### **Общие замечания**

По работе в целом можно сделать следующие замечания:

1. Краевые задачи термоупругости, рассмотренные в работе, достаточно однообразны: механические условия сформулированы в напряжениях, а температурные ограничены заданием теплового потока. Кроме того, они симметричны. Возникает вопрос об особенностях изменения волнового поля, в том числе тонких динамических эффектов, при других граничных условиях и общего случая деформирования. Какие изменения в этом случае претерпевает алгоритм сведения исходной краевой задачи к определяющей системе интегральных уравнений.
2. Автором используется недостаточно корректная идентификация явления краевого резонанса по конфигурации спектра собственных частот исследуемых тел (наличие на спектре частот так называемых плато, т.е. независимости значения резонансной частоты от геометрических размеров сечения). В то же время более обоснованным следует считать определение резонансных частот, соответствующих краевому резонансу по наличию сингулярностей на дисперсионных кривых, как это сделано, например, работах Ю.А. Устинова,

И.П. Гетмана. В исследованиях не нашел отражение вопрос о взаимосвязи этих двух способов.

3. Введение понятия ПЛО на случай сопряжения двух сред носит чисто теоретический характер. Локальная особенность по напряжениям в этом случае определяется параметрами Дандерса, введенными еще в середине прошлого века.
4. Представляется целесообразным более четко выделить класс задач, в которых наиболее значимо для теории и практики проявляется роль предлагаемых методов и исследуемых эффектов в свете обобщения и совершенствования существующих подходов к решению связанных динамических задач термоупругости.
5. Недостаточно подробно описан процесс численного решения определяющей бесконечной системы алгебраических уравнений, не освещены механизмы редукции системы и процессов сходимости неизвестных. Представляется целесообразным более подробно изложить особенности практической реализации использованных при построении решений бесконечных систем алгебраических уравнений результатов асимптотического анализа неизвестных.
6. Обзор литературных источников представляется перегруженным из-за описания различных подходов в теории упругости. В то же время хотелось бы более детального анализа работ в области связанной теории термоупругости с оценкой областей ее применения.

### **Заключение**

Приведенные замечания носят непринципиальный, технический характер и не снижают общей положительной, достаточно высокой оценки диссертационной работы Е.С. Кисель.

Диссертация представляет собой законченную научно-исследовательскую работу на актуальную тему. Достоверность полученных результатов не вызывает сомнения. Автором получен ряд новых результатов, представляющих несомненный научный и практический интерес, которые в совокупности могут

быть классифицированы, как большой вклад в развитие нового перспективного научного направления.

Определение напряженного состояния кусочно-однородных тел, путем постановки и решения подобного рода обобщающих задач, формирует основу для осуществления, с помощью единого математического аппарата, выше указанных комплексных исследований тонких динамических эффектов в условиях динамических и температурных нагрузок на элементы конструкций, а оттого актуальны и в теоретическом, и в прикладном аспекте для механики деформируемого твердого тела. Автореферат и публикации правильно и достаточно полно отражают содержание диссертации.

Считаем, что работа «Динамические задачи термоупругости для кусочно-неоднородных тел с негладкой границей» удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям по физико-математическим наукам, а ее автор, Е.С. Кисель заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела.

Отзыв обсужден и принят единогласно на расширенном заседании кафедры "Теоретическая и прикладная механика" ДГТУ протокол № 5 от 09.11.2018

Заведующий кафедрой теоретической и прикладной механики,  
доктор физ.-мат. наук, доцент, Федеральное государственное  
бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Донской государственный технический университет»,  
**344000, Россия, Ростовская область, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1,**  
+7 (863) 273-85-66 тел. 8-863-2381509 (раб.), 8-904-5041638 (моб.)  
e-mail: solovievarc@gmail.com

«12» 11 2018г.

Соловьев Аркадий Николаевич

Подпись А.Н. Соловьева заверяю  
Ученый секретарь Ученого Совета ДГТУ



В.Н. Анисимов