

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук

Букатого Алексея Станиславовича на диссертационную работу Кусаевой Жанслу Маратовны «Исследование связанных нестационарных термоупругих полей в однослойных и многослойных круглых пластинах», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.1.8 .Механика деформируемого твердого тела.

Актуальность темы исследования. При разработке современных элементов конструкций различного назначения, работающих в условиях неравномерного нестационарного нагрева, возникает необходимость учета температурных деформаций и напряжений. Их величина и характер распределения влияют на прочностные свойства конструкций. При этом изменение температуры тела происходит не только в результате подвода тепла от внешних источников, а также за счет скорости деформирования упругой системы, что указывает на необходимость учета связанности термоупругих полей.

Для описания процесса распространения связанных температурных и упругих полей в настоящее время разработано несколько теорий термоупругости, позволяющих исследовать краевые задачи с различной степенью точности. Это классическая линейная теория, которая включает векторное уравнение движения и параболическое уравнение теплопроводности Фурье. В дальнейшем были сформулированы теории термоупругости, в которых используется гиперболическое уравнение теплопроводности, позволяющее учесть конечную скорость распространения тепла. Следует отметить, линейные теории справедливы при условии, что приращение температуры мало по сравнению с начальной температурой.

Математическая формулировка разработанных теорий термоупругости включает систему несамосопряженных дифференциальных уравнений, что вызывает значительные трудности при построении общего решения. Для

преодоления данной проблемы, как правило, используется вариационный принцип, позволяющий развить приближенные методы решения связанных задач, а также исследуются несвязанные задачи при использовании прикладных теорий для тонких пластин и оболочек. Разработано много методов и путей решения задач по термодинамике, а также различных способов получения точных и приближенных аналитических решений. Однако для более качественной оценки нестационарных термомеханических процессов в конструкциях возникает необходимость построения связанных аналитических решений в трехмерной постановке, которые позволяют выявить новые особенности протекания процесса деформирования и распространения температурного поля. При этом в настоящее время нет общей теории расчета тел конечных размеров в пространственной постановке на нестационарное температурное воздействие. Исходя из этого, представленная диссертационная работа является следующим шагом в построении общего решения задач термоупругости для упругих тел конечной жесткости, что является подтверждением ее несомненной актуальности.

Научная новизна полученных результатов. В большинстве научных исследований при решении краевых задач термоупругости используется допущение, что при действии внешнего источника тепла скорость изменения объема тела (скорость деформирования) не оказывает существенного влияния на его температурное поле, что приводит к решению задач в несвязанной постановке. При использовании данного предположения первоначально в диссертационной работе рассматривается несвязанная краевая осесимметричная задача для жестко закрепленной упругой круглой пластины. Новое замкнутое решение получено методом неполного разделения переменных в виде конечных интегральных преобразований. В отличие от обычно применяемых подходов, в которых расчетная схема упругой системы при использовании различных кинематических гипотез представляется в виде одномерной или двумерной тонкой конструкции, в настоящей работе разработан алгоритм расчета, справедливый для пространственной конструкции конечных размеров.

Полученные результаты динамического осесимметричного расчета позволяют определить напряженно-деформированное состояние и температурное поле круглой пластины. Кроме того, численные результаты расчета дают возможность определить предельное значение скорости изменения температурной нагрузки, при которой необходимо учитывать инерционные характеристики рассматриваемых упругих систем произвольной толщины.

На следующем этапе исследования Кусаевой Ж.М. рассматривается связанная задача термоупругости для круглой жестко закрепленной пластины в случае действия нестационарной температурной нагрузки без учета сил инерции. В этом случае вместо уравнений движения используются уравнения равновесия. Сложность интегрирования исходных расчетных соотношений заключается в том, что в результате формируется система несамосопряженных дифференциальных уравнений в частных производных, для которых крайне сложно построить сопряженный оператор.

Для решения данной проблемы в работе используется математический аппарат в виде обобщенных конечных биортогональных преобразований, а также метод опорных векторов. Особенностью данного интегрального преобразования является в том, что трансформанта и формулы обращения содержат различные ядровые вектор-функции. В результате построенного нового алгоритма решения определяется напряженно-деформированное состояние и температурное поле пластины с учетом скорости изменения ее объема.

Разработанный алгоритм замкнутого решения связанной задачи термоупругости используется в следующем разделе диссертации для расчета сплошной многослойной круглой жестко закрепленной пластины. Количество слоев в конструкции может быть неограниченно, однако для определенности решения в работе рассматривается двухслойная пластина. При этом на лицевой поверхности конструкции удовлетворяются граничные условия теплопроводности 1-го и 3-го рода.

На основе вышеизложенного можно сделать вывод, что диссертационная работа посвящена развитию теоретических основ расчета круглых однослойных и многослойных пластин конечных размеров с учетом связанности термоупругих полей. Были построены новые замкнутые решения рассматриваемых нестационарных осесимметричных задач, позволяющих наиболее полно учесть связанность температурных и упругих полей. Численный анализ результатов позволяет выявить новые связи между характером внешнего температурного воздействия и процессом деформирования пластин, а также процессом распространения температурного поля. Таким образом, все полученные в работе результаты посвящены решению одной из актуальных проблем современной науки по специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела.

Достоверность результатов обеспечивается строгостью решений в пределах сформулированных допущений математической постановки, а также методами решения рассматриваемых начально–краевых задач термоупругости. Достоверность подтверждается совпадением численных результатов в частных случаях с известными решениями и экспериментальными данными, а также соответствием качественных результатов расчета физической картине исследуемых процессов.

Значимость результатов для науки и практики. Результаты, представленные в диссертационной работе Кусаевой Ж.М., имеют большое значение в плане построения новых нестационарных замкнутых аналитических решений задач термоупругости для упругих тел конечных размеров в пространственной постановке. При этом представленные результаты получены при использовании современного математического метода разделения переменных в виде обобщенных конечных интегральных преобразований, что позволяет с высокой степенью точностью дать количественную оценку связанности температурных и механических полей в элементах конструкций. Поэтому представленные исследования, несомненно, вносят вклад в разработку общих теоретических основ расчета конструкций на температурное воздействие.

Практическая ценность работы определяется возможностью использования полученных автором решений, разработанных алгоритмов и программных средств при проектировании и более качественной оценке прочностных свойств элементов конструкций различного назначения. Полученные результаты позволяют значительно сократить объем дорогостоящих исследований на моделях, а также дают возможность обосновать рациональную программу экспериментов.

Программная реализация разработанных алгоритмов расчета нашла применение в инженерных расчетах, выполняемых проектным отделом ООО НИПИ НГ «Петон». Результаты работы используются также в учебном процессе при подготовке магистрантов СамГТУ по направлению «Строительство» и профилю образования «Теория сооружений».

Публикации, апробация работы, оформление диссертации и автореферата. Основные результаты работы Кусаевой Ж.М. достаточно полно освещены в 16 публикациях, в т.ч. 7 работ в рецензируемых журналах ВАК, Scopus и Web of Science. Результаты работы апробированы на ряде международных и всероссийских научно-технических конференциях, а также на научных семинарах в ведущих школах по данной тематике. Диссертация написана с правильным использованием научной терминологии. Ее содержание в полной мере раскрывает постановку, методы и результаты решения поставленных задач термоупругости. Содержание автореферата полностью отражает идеи, результаты и выводы диссертации, а также перечень опубликованных работ. Оформление автореферата и диссертации соответствуют существующим требованиям.

Замечания по содержанию и оформлению работы.

Существенных замечаний, влияющих на положительную оценку диссертационной работы, не выявлено. Отметим следующие частные замечания:

- 1) В диссертации отсутствует список принятых обозначений, что несколько затрудняет ознакомление с работой.

- 2) При большом внешнем температурном возмущении наблюдается изменение физико–механических характеристик материала и уравнение теплопроводности следует записывать в нелинейной постановке. В работе применяется линейная теория и не обозначены границы использования построенных решений;
- 3) Автором в диссертации рассмотрены только осесимметричные задачи. Не ясно, возможно ли распространение используемого в работе подхода при решении неосесимметричных задач?
- 4) В работе решения задач получены в виде бесконечных рядов. Следовало бы провести оценку их сходимости.
- 5) В подрисуночных надписях к графикам исследуемых характеристик в зависимости от времени следовало бы указывать величину коэффициентов перехода от относительных единиц времени к натуральным.
- 6) В экспериментальном стенде для исследования термоупругих полей напряжений не сделана оценка жёсткости опоры «жёсткое защемление». По фотографиям (рис. 5.1) видно, что жёсткое защемление реализуется не полностью, т.к. исследуемые пластины прижимаются по краям к стальному основанию узкой и тонкой кольцевой пластиной и болтами, расположенными за пределами исследуемой пластины. Для корректного жёсткого защемления следует увеличить количество болтов и толщину прижимной кольцевой пластины для увеличения её жёсткости. При этом болты должны проходить по краю сквозь исследуемую пластину.

Заключение по диссертации. В целом диссертационная работа является законченным научно-исследовательским трудом, выполненная на высоком научном уровне. Основные результаты работы в полном объеме освещены в публикациях соискателя. Соискателем решена важная научно–техническая задача в области расчета упругих пластин в случае действия нестационарной осесимметричной температурной нагрузки.

Считаю, что диссертационная работа Кусаевой Жанслу Маратовны «Исследование связанных нестационарных термоупругих полей в однослойных

и многослойных круглых пластинах» является завершенным научным исследованием, выполненным на достаточно высоком научном и методическом уровне, соответствует специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела, имеет научное и прикладное значение, отвечает требованиям пункта 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24.09.2013 года (в редакции от 01.10.2018). Рецензируемая диссертационная работа удовлетворяет требованиям, предъявляемым к диссертации на соискание ученой степени кандидата наук ВАК Минобрнауки, а ее автор – Кусаева Жанслу Маратовна – заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по указанной специальности.

Я, Букатый Алексей Станиславович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент:

Доктор технических наук (01.02.06. Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры), профессор кафедры «Сопротивление материалов», Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева

E-mail: bukaty@inbox.ru

Тел. +7 9170111771

Букатый Алексей Станиславович

02.02.2022 г

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» (Самарский университет)

Кафедра «Сопротивление материалов»

443086, Россия, г. Самара, ул. Московское шоссе, д. 34

Телефон: 8 (846) 335-18-26; Факс: (846) 335-18-36

E-mail: ssau@ssau.ru

	Подпись <u>Букатого АС</u> удостоверяю.
	Заведующий отделом сопровождения деятельности диссертационных советов Самарского университета <u>И.П. Васильева</u> 02 20.22 г.