

## ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора физико-математических наук,  
профессора Зингермана Константина Моисеевича о диссертации Бедновой  
Вероники Борисовны «Исследование напряженно-деформированного  
состояния и разрушения элементов конструкций при  
высокотемпературном нагреве с учетом нелинейности термомеханических  
свойств материала», представленной на соискание учёной степени  
кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04  
«Механика деформируемого твёрдого тела»

Температурные напряжения являются распространенной причиной разрушения элементов конструкций, особенно в случае быстрого неравномерного нагрева до высокой температуры. Поэтому большое значение имеет решение задач о напряженно-деформированном состоянии изделий, подвергаемых неравномерному нагреву. Эффективный метод расчета температурных полей, основанный на предположении о существовании теплового фронта, был предложен в работах Г.И. Баренблатта, С.А.Шестерикова, М.А. Юмашевой, М.В. Юмашева и других авторов. Этот метод позволяет получить приближенное аналитическое решение ряда задач теплопроводности, в том числе нелинейных, в достаточно простой форме. На основании этого решения далее может быть получено решение несвязанных квазистатических задач термоупругости и термоупругопластичности и исследовано возможное разрушение элементов конструкций. Такой подход эффективен при моделировании технологических процессов, например, при лазерной обработке изделий. Представляет интерес применение этого метода к моделированию процесса селективного лазерного спекания, к исследованию фазовых переходов. Этим определяется *актуальность* темы диссертации В.Б.Бедновой.

*Научная новизна* результатов диссертации определяется тем, что в ней модифицирован метод расчета температурных полей, что позволило решить

задачу теплопроводности при заданном тепловом потоке на границе, исследовать влияние различных форм нелинейности на распределение температуры. Получены аналитические выражения для напряжений для упругих и упругопластических материалов, исследовано влияние нелинейных теплофизических свойств материала на разрушение изделия.

Структурно диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Объем диссертации – 109 страниц.

Во *введении* дан обзор экспериментальных и теоретических работ по теме диссертации, сформулированы цели и методы исследования.

*Первая глава* диссертации посвящена методам решения задачи теплопроводности. Изложен общий подход к решению, основанный на предположении о существовании температурного фронта. Приведено решение задачи в одномерном случае в декартовых и цилиндрических координатах как в линейной постановке, так и с учетом нелинейных эффектов – зависимости коэффициента теплопроводности от температуры. Задачи решены как при заданной температуре на границе, так и для случая, когда на границе задан тепловой поток. Приведены числовые результаты, исследовано количественно влияние нелинейности. Приведено сравнение с точным решением для линейной задачи. Особый интерес представляет решение двумерной задачи (с. 60, 61).

Во *второй главе* диссертации приведены постановки и результаты решения несвязанных квазистатических задач термоупругости для элемента конструкции балочного типа и тонкого кругового диска, находящегося в плоском напряженном состоянии. Решения задач термоупругости получены на основе решений задач теплопроводности, построенных в главе 1. Даны графики распределения напряжений, исследовано влияние нелинейности теплофизических свойств материала на напряженное состояние. Получено решение термоупругопластической задачи для тонкого диска, исследовано влияние пластических свойств материала на окружные напряжения.

В *третьей главе* диссертации моделируется хрупкое разрушение материала тонкого диска в области, где достигнут предел прочности. При этом



предполагается, что в зоне разрушения окружные напряжения становятся равными нулю. Приведены графики распределения напряжений с учетом зоны разрушения.

В четвертой главе диссертации исследованы способы уменьшения температурных напряжений при нагреве элементов конструкций под действием лазерного излучения: обдув поверхности образца и предварительное механическое нагружение. Приведены численные результаты, иллюстрирующие возможности этих способов уменьшения напряжений.

В *заключении* сформулированы основные результаты и выводы, полученные автором диссертационной работы.

В целом диссертация имеет продуманную структуру, написана грамотным языком, выкладки приведены с необходимой подробностью, выводы обоснованы результатами расчетов.

Автореферат диссертации полностью соответствует ее содержанию.

Диссертация прошла необходимую апробацию на научных конференциях, в том числе международных, и на научных семинарах под руководством высококвалифицированных специалистов в области науки, связанной с тематикой диссертации. По теме диссертации автором опубликовано 3 статьи в журналах из списка ВАК.

#### **Замечания**

1. Было бы желательно привести вывод выражений для коэффициентов  $B_1$  и  $B_2$  на с. 27.

2. В постановке задачи теплопроводности для тонкого диска не указаны граничные условия на основаниях диска (с. 38). Эти основания имеют намного большую площадь, чем боковая поверхность диска, и можно ожидать, что через эти основания будет большой тепловой поток, что существенно повлияет на решение.

3. Выражение «константа  $k$  определяется из физического смысла задачи» (с. 41) представляется не вполне корректным.

4. В уравнении (2.2) на с. 64, видимо, неверно поставлены скобки.

5. Обозначения для осей координат в п. 2.1 и 2.2 не согласованы между собой.

6. Неясно, что изображено стрелками на рис. 2.1 (с. 66) – нагрузка или тепловой поток. Неясно также, почему в комментарии к этому рисунку говорится о цилиндрических координатах.

Указанные недостатки не снижают положительную оценку работы в целом.

#### Заключение

Диссертация В.Б. Бедновой является законченной научно-квалификационной работой. Диссертационная работа соответствует всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 «Механика деформируемого твёрдого тела», а её автор, Беднова Вероника Борисовна, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по данной специальности.

Официальный оппонент  
доктор физико-математических наук,  
профессор, заведующий кафедрой  
вычислительной математики федерального  
государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего  
образования «Тверской государственный  
университет»

170100, г. Тверь, ул. Желябова, 33.

Тел. +7-4822-580-522 (доб. 119)

E-mail: Zingerman.KM@tversu.ru

Зингерман Константин

Моисеевич

*Zim*

26.04.2017



Подпись Зингермана К.М.  
УДОСТОВЕРЯЮ Проректор по НИД

*[Handwritten signature]*

*И.А. Каплунов*