

## ОТЗЫВ

**на автореферат диссертации САГАНОВА Евгения Борисовича  
«Разработка методов анализа термомеханического поведения элементов  
конструкций, содержащих сплавы с памятью формы, работающих на кручение»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела**

В настоящее время сплавы с памятью формы (СПФ) находят применение в различных отраслях науки и техники. Известны устройства, которые успешно используют уникальные свойства этих сплавов, такие, как мартенситная неупругость, накопление деформаций прямого мартенситного превращения, эффект памяти формы, сверхупругость. К ним можно отнести торсионные актуаторы, стенты, муфты, а также гасители механических колебаний. Разработка подобных устройств невозможна без имитационного моделирования поведения элементов из СПФ при действии вариативных температурных и механических воздействий.

В настоящее время наиболее распространенным инструментом имитации термомеханического поведения конструкций являются коммерческие комплексы конечно-элементного анализа. Данное программное обеспечение зачастую содержит модули, позволяющие проводить расчеты напряженно-деформированного состояния (НДС) конструкций из СПФ. Среди них выделяются следующие: MSC Marc, SIMILIA Abaqus, Comsol Multiphysics. Однако, данные комплексы не могут описать все аспекты термомеханического поведения СПФ, такие, как развитие мартенситных элементов в процессе прямого мартенситного превращения, протекающего под действием внешнего механического напряжения, влияние на температуру элемента из СПФ текущего значения объемной доли мартенсита, что в значительной степени сказывается на результатах моделирования.

Из вышесказанного следует, что разработка методов аналитического и численного решения задач механики деформируемого твердого тела применительно к СПФ является актуальной научной и практической задачей. Полученные решения можно использовать для модификации и расширения имеющихся модулей расчета НДС конструкций из СПФ, а также проводить их верификацию. Получению подобных решений на случай кручения тонкостенных и толстостенных трубок, а также стержней сплошного круглого поперечного сечения из СПФ и посвящена диссертационная работа Саганова Е.Б.

При построении решений задач о мартенситной неупругости, прямом и обратном термоупругом фазовом превращении, а также сверхупругости автор использовал модель нелинейного деформирования СПФ при фазовых и структурных превращениях, которая позволяет описать данные явления в виде систем алгебраических и дифференциальных уравнений. Достоверность полученных автором диссертации результатов обусловлена сходимостью решений рассматриваемых задач к аналитическим решениям, найденным для частных случаев упрощенных постановок. Приведенные в диссертации решения представляются новыми. Практическое значение имеют основные выводы из результатов работы, которые необходимо учитывать при проектировании торсионных актуаторов, силовозбудителей крутящего момента и иных устройств из СПФ, работающих на кручение, а также подтверждено актом внедрения.

По тексту автореферата отмечены следующие замечания:

- Ряд аналитических решений получен в диссертации с использованием положения об активных процессах пропорционального нагружения, однако в автореферате отсутствует обоснование применимости этого положения к решению поставленных задач;
- В диссертационной работе рассмотрено два механизма накопления неупругой деформации (мартенситная неупругость и прямое превращение при фиксированном

крутящем моменте), которая будет сниматься при последующем нагреве (обратное превращение), однако в тексте автореферата не отмечено, какой процесс предшествовал нагреву элемента из СПФ;

- При решении задач автор использует ряд констант материала (например, константа  $\alpha$ ), оказывающих существенное влияние на конечный результат вычислений. Однако описания их физического смысла и рекомендации по выбору числовых значений применительно к используемой марке СПФ, в автореферате отсутствуют;
- В автореферате не объяснена причина образования остаточных деформаций в дважды связанной задаче кручения трубок из СПФ в режиме сверхупругости для конечных значений скоростей нагружения/разгрузки. За счет введенных условий естественной конвекции, температура трубки достигнет исходных значений, что приведет к завершению обратного мартенситного превращения и, как следствие, возвращению накопленной деформации.

Приведенные замечания не снижают ценности новых решений и результатов, полученных автором. Диссертационная работа Саганова Е.Б. представляется законченной научно-квалификационной работой, имеет важное прикладное и фундаментальное значение, удовлетворяет всем критериям, установленным Положением «О порядке присуждения учёных степеней». Саганов Е.Б. заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.04 - Механика деформируемого твердого тела.

Инженер отдела проектирования и инженерного анализа  
ООО "ТЕСИС",

кандидат технических наук по специальности 01.02.04  
– «Механика деформируемого твердого тела»

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2016 г.

 Нуштаев Дмитрий Владимирович

Адрес: 127083 Москва, ул. Юннатов, д.18

Тел: +7 (495) 612-44-22

Электронная почта: nd@tesis.com.ru

Подпись Нуштаева Д. В. заверяю.

Генеральный директор  
ООО "ТЕСИС"



Курсаков Сергей Николаевич