

ОТЗЫВ
научного руководителя

о диссертанте НУШТАЕВЕ Дмитрии Владимировиче
и его диссертационной работе
**«Численное моделирование процессов деформирования
сплавов с памятью формы»**,
представленной на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности
01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела».

Нуштаев Дмитрий Владимирович является выпускником кафедры «Соппротивление материалов, динамика и прочность машин» Федерального государственного бюджетного учреждения высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет) - МАИ». Завершил высшее образование в 2011 году по специальности «Динамика и прочность машин» с отличием. В мае 2011 года был зачислен в очную целевую аспирантуру на базовой кафедре «Механика наноструктурных материалов и систем» ФГБОУ ВПО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», созданной при ФГБУН «Институт прикладной механики Российской Академии наук», которую успешно окончил в мае 2015 года.

В ходе работы над диссертацией Д. В. Нуштаев продемонстрировал способность к самостоятельной научно-исследовательской работе, выполненной им при минимально необходимом участии научного руководителя, понимание фундаментальных основ механики и термодинамики деформируемого твердого тела, умение применять современные вычислительные комплексы к решению нестандартных задач, требующих расширения возможностей данных комплексов за счет специализированных программных модулей, способность к адаптации моделей термомеханического поведения неупруго деформируемых твердых тел к использованию совместно с комплексами прикладных программ, а также к самостоятельной постановке и проведению экспериментальных исследований и анализу экспериментальных данных.

Актуальность темы диссертационной работы обусловлена, с одной стороны, расширением области применения сплавов с эффектом памяти формы (СПФ) с использованием широкого спектра их уникальных свойств, с другой стороны, чрезвычайной сложностью термомеханического поведения СПФ и обилием обнаруженных в последние несколько лет новых явлений и эффектов, в том числе аномально низкими критическими силами потери устойчивости исходной формы равновесного состояния тонкостенных систем – стержней, пластин и оболочек, что усложняет проектирование элементов такого типа. Решение как практических, так и ряда фундаментальных исследовательских задач на современном уровне невозможно без применения численных методов решения нелинейных задач механики деформируемого твердого тела, в первую очередь метода конечных элементов и сертифицированных комплексов программ на его базе. Анализ возможностей существующих пакетов прикладных программ показал, что в большинстве случаев они исчерпываются описанием сверхупругого деформирования СПФ на базе гистерезисной модели и не позволяют моделировать неизотермическое поведение материала, а также приводят к неправильным результатам в ряде задач о прямом и обратном мартенситных переходах. Следовательно, решение задач о нелинейном деформировании элементов из СПФ без реализации определяющих соотношений в виде специальных модулей расширения конечно-элементных комплексов, представляется неэффективным и нерациональным, а часто и невозможным. Пользовательские прикладные программы, обеспечивающие решение некоторых частных задач, проблемы не решают. Соответственно, выбранное автором направление работы, положенной в основу диссертации, вполне актуально.

Новые результаты, полученные в диссертационной работе:

1. Впервые связная модель А. А. Мовчана термомеханического поведения СПФ, правильно описывающая фазовые переходы и апробированная на базе большого объема экспериментальных исследований, адаптирована

для численного решения практических инженерных задач механики конструкций из СПФ и реализована в форме программного модуля системы Simulia \ ABAQUS.

2. Впервые получено решение задачи об устойчивости прямолинейной формы статического равновесия призматического стержня из СПФ, претерпевающего прямое мартенситное превращение под действием однородного температурного поля и постоянной сжимающей силы, в геометрически нелинейной трехмерной постановке задачи, получено распределение параметра мартенситной фазы по длине и сечению стержня в процессе фазового перехода.
3. Впервые получено численное подтверждение предположения А. А. Мовчана и Л. Г. Сильченко о решающей роли процесса фазового перехода, как дополнительного возмущающего фактора, при переходе стержня в изогнутую форму равновесного состояния, на базе точной нелинейной постановки задачи и показано, что потеря устойчивости прямолинейной формы равновесия наступает при величине критической силы около 15% оценки формулой Эйлера при минимальном значении модуля упругости материала.
4. Впервые на базе связанной модели А. А. Мовчана термомеханического поведения СПФ получено решение практической задачи для ячеистой цилиндрической оболочки сосудистого стента при установке в транспортный контейнер, транспортировке и установке стента в рабочее положение.
5. Впервые на на базе связанной модели А. А. Мовчана термомеханического поведения СПФ и данных серии вспомогательных экспериментов, выполненных автором диссертационной работы лично, получено решение задачи о потере устойчивости и предельной несущей способности ячеистой цилиндрической оболочки сосудистого стента при осевом сжатии и проведена оценка влияния на несущую способность сил сухого трения при контактном взаимодействии ячеек стента.

Достоверность полученных результатов основывается на строгости постановок начально-краевых задач механики деформируемого твердого тела, применении апробированной модели термомеханического поведения сплава с памятью формы в процессе фазовых превращений, критическом анализе возможностей разработанного алгоритма и программы на базе системы модельных задач, аккуратном применении к численному решению задач механики конструкций из СПФ сертифицированного конечно-элементного комплекса Simulia \ ABAQUS, а также на результатах сопоставления численных результатов с экспериментальными данными, в том числе полученными автором лично.

Практическая ценность результатов диссертационной работы заключается прежде всего в возможности применения разработанного автором программного модуля, реализующего определяющие соотношения модели А. А. Мовчана, в составе конечно-элементного комплекса Simulia \ ABAQUS при решении практических задач для элементов из сплава с памятью формы, претерпевающих фазовые превращения. Структура модели и реализующего ее алгоритма допускают расширение программного модуля для обеспечения учета структурных превращений и других эффектов. Полученные автором решения задач об устойчивости стержней, подтверждающие оценку критической силы величиной около 12-18% эйлеровой силы при наименьшем значении модуля упругости, имеют решающее значение для проектирования тонкостенных элементов из СПФ, работающих в условиях сжатия. Кроме того, автором получены решения задач об установке кардиологического стента в транспортное или рабочее положение с оценкой областей фазового перехода имеют непосредственное практическое значение. Применение данных результатов подтверждено соответствующим актом о внедрении.

Основные результаты, полученные в диссертационной работе, опубликованы в одиннадцати научных работах, четыре из которых – в журналах, рекомендованных ВАК РФ.

Считаю, что диссертация Д. В. Нуштаева является законченной научно-квалификационной работой, содержит полученное лично автором новое решение актуальных задач механики деформируемого твердого тела, имеющих как фундаментальное значение, так и прикладную ценность, и соответствует критериям, установленным Положением ВАК о порядке присуждения ученых степеней. Автор диссертации Д. В. Нуштаев является квалифицированным специалистом в области механики деформируемого твердого тела и заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела».

Научный руководитель
кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник
ФГБУН ИПРИМ РАН

Жаворонок С. И.

Подпись Жаворонка С. И. заверяю.

Ученый секретарь ИПРИМ РАН

