

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.125.05 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» по диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук.

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от «26» ноября 2014 № 18

**О присуждении** Зенину Владиславу Александровичу, гражданину России, **ученой степени кандидата технических наук.**

**Диссертация** «Исследование и разработка метода расчета активных элементов энергетических установок на основе сплавов с памятью для ФАР» по специальности 01.02.06 «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры» принята к защите 24 сентября 2014 г., протокол № 17, диссертационным советом Д 212.125.05 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Министерство образования и науки РФ, 125993, Волоколамское шоссе, д. 4, г. Москва, А-80, ГСП-3, приказ о создании диссертационного совета Д 212.125.05 - № 105/нк от 11.04.2012.

**Соискатель** Зенин Владислав Александрович, 1986 года рождения, гражданин России. В 2009 году окончил Московский авиационный институт (государственный технический университет) (МАИ) по специальности «Космические летательные аппараты и разгонные блоки».

Обучался в очной аспирантуре с 01.11.2010 г. по 31.10.2013 г. ФГБОУ ВПО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (МАИ), кафедра «Конструирование антенно-фидерных систем радиотехнических информационных комплексов».

Работает в должности ведущего инженера в ОАО “ГСКБ “Алмаз-Антей”, КТК №40, СКБ-2, отдел 24.

**Диссертация выполнена** на кафедре «Конструирование антенно-фидерных систем радиотехнических информационных комплексов» ФГБОУ ВПО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (МАИ) Министерства образования и науки Российской Федерации.

**Научный руководитель** – Крахин Олег Иванович **доктор** технических наук, профессор, профессор кафедры «Конструирование антенно-фидерных систем радиотехнических информационных комплексов» ФГБОУ ВПО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (МАИ) Министерства образования и науки Российской Федерации.

**Официальные оппоненты:**

**Иванов Александр Сергеевич**, доктор технических наук, профессор, доцент кафедры «Основы проектирования машин», МГТУ им. Баумана, г. Москва;

**Гуревич Юрий Ефимович**, кандидат технических наук, профессор, профессор кафедры «Станки (Детали машин)» МГТУ СТАНКИН, г. Москва дали положительные отзывы на диссертацию.

**Ведущая организация** Федеральное Государственное бюджетное учреждение науки Институт прикладной механики РАН, г. Москва, **в своем положительном заключении, подписанным** Янковским Юрием Григорьевичем, доктором технических наук, профессором, ВРИО директора института прикладной механики РАН, **указала, что** диссертация является законченной самостоятельной научно-исследовательской работой и содержит решение важной проблемы разработки метода расчета и проектирования активного элемента для термомеханического двигателя.

**Соискатель имеет** 10 опубликованных работ, из них 2 – опубликованных в рецензируемых научных изданиях, два патента на изобретение и патент на полезную модель.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Крахин О.И., Зенин В.А., Фатьянов С.А. Термомеханические двигатели и теплоэнергетические установки на основе сплавов с памятью. – Вестник Московского авиационного института. №17, 2010. С. 120 - 130.

В работе рассматриваются вопросы расчёта и проектирования термомеханических двигателей и теплоэнергетических установок на основе сплавов с памятью. Проведено теоретическое исследование варианта энергетической установки турбинного типа, работающей в двух средах: вода-воздух.

2. Крахин О.И., Зенин В.А., Кузнецов А.П. Применение сплавов с памятью в приводных устройствах. – Вестник Московского авиационного института. №19, 2012. С. 24 - 34.

В работе приведена классификация приводных устройств различного назначения на основе активных элементов из сплавов с памятью, рассмотрены результаты исследований характеристик, критериев их оценки и расчета. Даны основные требования, предъявляемые к специальным свойствам сплавов и активным элементам на их основе.

3. Крахин О.И., Зенин В.А., Кузнецов А.П. Фатьянов С.А. Способ управления деформированием и восстановлением активного элемента из сплавов с памятью, используемого в качестве исполнительного механизма. Патент на изобретение №2465114, 27.10.2012.

Способ заключается в следующем: активные элементы в мартенситном состоянии деформируют до момента потери устойчивости. Далее активный элемент нагревают до температуры конца аустенитного превращения, а затем активный элемент вновь охлаждают до мартенситного состояния и при необходимости повторяют цикл. Этот процесс потери устойчивости изменяет одноосное состояние деформирования на состояние изгиба и, следовательно, величина взаимного относительного перемещения концов активного элемента будет в разы больше их аналогичного перемещения без потери устойчивости при одноосном состоянии деформирования. Таким образом, происходит управление деформированием и восстановлением, и,

следовательно, величиной требуемого перемещения и усилием, которое создает активный элемент.

4. Крахин О.И., Зенин В.А., Кузнецов А.П. Фатьянов С.А. Устройство для соединения трубы и концевой арматуры. Патент на полезную модель №116192, 20.05.2012.

Целью полезной модели является устройство для многократного создания соединений деталей конструкций концевой арматуры произвольной формы, которое содержит технологический элемент из сплава с памятью охватывающий трубу в зоне размещения концевой арматуры.

5. Крахин О.И., Зенин В.А., Кузнецов А.П. Способ автоматического управления тепловым состоянием и функциональными параметрами технических устройств. Патент на изобретение №2511075, 10.04.2014.

Способ заключается в установлении и определении вида и параметров тепловых функций теплонагруженных технических устройств, по которым рассчитывают величины тепловых функций во время работы устройств и при их простоях и введении коррекции в исполнительные органы через компьютерную систему числового управления в моменты достижения рассчитанных величин установленных допустимых значений.

**На диссертацию и автореферат поступили отзывы:**

от ведущей организации Федерального Государственного бюджетного учреждения науки Институт прикладной механики РАН, отзыв положительный;

от официального оппонента, Иванова Александра Сергеевича, доцента кафедры «Основы проектирования машин» МГТУ им. Баумана, доктора технических наук, профессора, отзыв положительный;

от официального оппонента, Гуревича Юрия Ефимовича, профессора кафедры «Станки (Детали машин)» МГТУ СТАНКИН, кандидата технических наук, профессора, отзыв положительный;

от заместителя начальника центра «Надежность космической техники и применение ЭРИ» ФГУП «Научно-производственное объединение им. С.А.

Лавочкина», кандидата технических наук, доцента, Колобова А.Ю., отзыв положительный;

от заведующего отделом №7 ИПМ им. М.В. Келдыша, доктора физико-математических наук, профессора, Колесниченко А.В., отзыв положительный;

от ведущего научного сотрудника НИИ механики МГУ, доктора физико-математических наук, Нетребко Алексея Васильевича, отзыв положительный;

от заведующего кафедрой низких температур, директора Центра высоких технологий НИУ «МЭИ», доктора технических наук, профессора Дмитриева А.С., отзыв положительный;

от профессора кафедры «Прочность материалов и конструкций» Российского университета дружбы народов, доктора технических наук, профессора Гришина Д.К., отзыв положительный.

В поступивших отзывах отмечена актуальность темы диссертационной работы, дан краткий обзор работы, отмечены новизна и достоверность полученных результатов, а также их практическая значимость. Отмечено, что автором

- впервые поставлен и в определенном плане решен вопрос рационального проектирования, как отдельных активных элементов, так и термомеханического двигателя турбинного типа в целом;

- предложен критерий оптимальности активного элемента, сводящийся, фактически, к требованию одновременного осуществления обратного термоупругого фазового превращения во всех точках рабочего тела и равных реактивных напряжений, развиваемых во всех этих точках. Сформулированы упрощенные варианты этих критериев;

- сформулированы уравнения энергетического баланса, учитывающие не только приток тепла, производимую работу и тепловые потери, но и поглощение латентного тепла фазового перехода при прямом термоупругом мартенситном фазовом превращении в активных элементах из сплавов с памятью;

- проведены экспериментальные исследования активного элемента в форме проволоки. Экспериментально определены характерные температуры начала и окончания обратного фазового превращения, а так же величина латентного тепла, поглощаемого при обратном фазовом превращении. Отработан режим предварительной тренировки активного элемента, стабилизирующей его последующую работу;

- разработаны методики расчета конструктивных параметров активных элементов энергетических установок, термомеханических и динамических расчетов;

- сформулированы требования, которые необходимо предъявить к специальным свойствам сплавов, заготовкам и активным элементам при проектировании энергетических установок;

В поступивших отзывах имеются следующие замечания:

1. В тексте диссертации (например, в таблице на стр. 75) приведено чрезвычайно низкое значение модуля упругости никелида титана  $E=1800$  Мпа. На самом деле величины, обозначаемые в тексте диссертации как  $E$  и  $G$  модулями упругости не являются. Это просто коэффициенты аппроксимаций нелинейных кривых деформирования CGA типа (3.51), к модулям упругости никакого отношения не имеющие. Более того, используя приведенные в диссертации экспериментальные данные (таблица 4.3 на стр. 84) можно вычислить модуль разгрузки мартенсита  $E= 28000$  МПа, что соответствует известным экспериментальным данным других авторов и подтверждает достоверность полученных в диссертации экспериментальных результатов.

2. Для моделирования движения Активных элементов в жидкой среде и выборе формулы для сопротивления их движению необходимо было произвести анализ, основанный на значениях Рейнольдса. Такой анализ в тексте не описан.

3. В тексте диссертации принят странный порядок изложения. Сначала в главе 3 описан процесс моделирования, и потом, только в главе 4, описан сам эксперимент, который моделируется. Это очень неудобно,

поскольку содержание главы 3 трудно понять, не прочитав предварительно главу 4.

4. В тексте диссертации в нескольких местах используется необычный термин “Потенциальная работа”. Следовало бы объяснить, что под этим понимается.

5. В тексте диссертации учитывается процесс поглощения латентного тепла фазового перехода при обратном термоупругом фазовом превращении. Определена даже величина этого латентного тепла по изменению наклона графика зависимости температуры от времени для процесса обратного превращения. Однако нигде не упоминается о выделении латентного тепла фазового перехода при прямом термоупругом фазовом превращении. На кривых охлаждения никаких изменений наклона соответствующих графиков не обнаруживается.

6. Формула (3.57) на стр.59 совершенно не понятна. Смысл последнего слагаемого правой части не ясен.

7. Формулы (2.5) и (3.89) содержат одинаковые обозначения для вообще говоря, совершенно разных величин, которые совпадают между собой лишь при равномерном распределении температуры.

8. Вопросы, связанные с предлагаемым критерием оптимизации требующим равномерного распределения температуры по рабочему телу активного элемента. На деле равномерно должно быть распределение по материалу значения параметра фазового состава. Но параметр фазового состава зависит не только от температуры, но и от действующих напряжений. Поэтому при неравномерном распределении напряжений оптимальное распределение температуры так же является неравномерным.

9. В заглавии лучше было бы вместо термина ФАР привести его расшифровку.

10. Следовало бы материал первой главы, касающийся зависимости фазового состава сплава с памятью формы (рис. 1.1), а также пятой главы, поясняющего устройство энергетических установок, работающих в двух средах, изложить перед формулировкой цели и задач исследования, что

облегчило бы читателю понимание термина "в двух средах", используемого в цели исследования, и обозначений температур  $A_H$ ,  $A_K$ ,  $M_H$ ,  $M_K$ , используемых в разделах, посвящённых задачам исследования, научной новизне и методам исследования.

11. В области температур  $A_H$ - $A_K$  в поликристаллической решетке энергия затрачивается не только на переход мартенсит – аустенит и на совершение работы, но и на внутреннее трение и на преодоление взаимодействия между кристаллами, связанного с заневоливанием. Очевидно, что оценка этих затрат могла бы позволить с большей точностью определить энергию преобразования мартенсит - аустенит.

12. Содержание заключения следовало бы дополнить пунктом, в котором раскрывалось выполнение цели исследования.

13. Представляется целесообразным с позиции энергоэффективности оценивать активные элементы в форме стержня и в форме трубы, работающие на кручение.

14. На графике охлаждения АЭ (рис.3.4) не показан температурный интервал начала и конца мартенситных превращений.

15. В работе исследуются затраты энергии только при продольной деформации, другие виды деформации не рассматриваются.

16. Исследования производились только на одной марке сплава.

17. В работе коэффициент тепловых потерь принимается равным на всех участках нагрева, в действительности этот коэффициент зависит от температуры.

18. В автореферате ничего не сказано о погрешностях расчета и эксперимента.

19. На рис.1. и рис.2. показаны аппроксимированные графики функции  $T=f(t)$  для холостого и рабочего хода соответственно, но не показаны точки, по которым эти функции аппроксимировались.

20. Не произведена оценка КПД и ресурса рассматриваемых установок.



21. Из автореферата не ясно, как будет реализовываться установка с двумя средами в условиях космоса.

22. Из автореферата не ясна степень внедрения результатов работы.

23. В автореферате не показана схема энергетической установки, активные элементы которой рассчитываются в примере по предложенному методу.

В ряде отзывов содержатся редакционные замечания, касающиеся оформления текста диссертации и автореферата.

**Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается** тем, что официальные оппоненты являются высокопрофессиональными специалистами в данной области, а ведущая организация – одной из передовых организаций, занимающейся современными проблемами механики конструкций из композиционных материалов и сплавов с памятью.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

**разработаны:**

- методика проектирования активного элемента энергетической установки турбинного типа, работающей в двух средах;
- вариант подготовки активного элемента к работе в составе энергетической установки для обеспечения стабильности механических характеристик с коэффициентом восстановления деформации равным единице;

**предложены:**

- новая расчетно-экспериментальная методика определения коэффициентов, учитывающих затраты энергии на мартенситные превращения и на совершение механической работы при обратном мартенситном превращении для сплавов с термомеханической памятью системы Ni-Ti;

**доказана** перспективность использования полученных результатов при термомеханическом расчете активного элемента, а также целесообразность использования критерия энергоемкости в качестве оценки эффективности активного элемента;

новые понятия и термины **не вводились**.

**Теоретическая значимость исследований обоснована тем, что:**

расчётно и экспериментально **доказано**, что в интервале температур аустенитных превращений повышенное потребление энергии связано не только с кристаллическим переходом мартенсит – аустенит, но и с затратами энергии на фактически произведенную механическую работу;

**применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использованы** законы термодинамики, уравнения механики деформируемого твердого тела, численные методы с применением программного комплекса SolidWorks Flow Simulation, а также результаты экспериментальных исследований;

впервые **изложены** этапы термомеханического расчета активного элемента энергетической установки турбинного типа, работающей в двух средах;

**раскрыты** преимущества и необходимость применения разработанного метода для расчета активных элементов энергетических элементов на этапе проектирования;

впервые **изучены** и исследованы затраты энергии на мартенситные превращения и на совершение механической работы при нагреве активного элемента в интервале температур аустенитных превращений;

**проведена модернизация** существующего способа определения температурного поля активного элемента на участке температур обратного фазового превращения, а именно, предложено использовать теплоемкость материала с учетом затрат энергии на мартенситные превращения и на совершение фактической механической энергии.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждены тем, что:**

**разработана** новая методика определения энергии затрачиваемой на механическую работу при обратном фазовом превращении;

**определены** направления практического использования результатов исследований при проектировании активных элементов, повышающих

эффективность работы и существенно снижающих массу и габариты энергетических установок;

**создана** система практических рекомендаций по определению требований к качеству сплава и заготовки для активных элементов, работающих в составе энергетической установки;

**представлены** практические рекомендации по выбору типа активного элемента с учетом критерия энергоемкости.

#### **Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

**экспериментальные** результаты получены на сертифицированном оборудовании, показана их воспроизводимость в различных условиях, проведено сравнение экспериментальных результатов с результатами, полученными при использовании систем автоматизированного проектирования и результатами экспериментальных исследований других авторов;

**теория** построена с привлечением классических физических представлений об изучаемом явлении, основывается на применении законов термодинамики и уравнений механики деформируемого твердого тела;

**идея базируется** на анализе известных экспериментальных данных и подходов к моделированию термодинамического поведения активного элемента из сплава с памятью;

**использовано** сравнение авторских данных и данных, полученных ранее по рассматриваемой тематике;

**установлено** качественное и количественное соответствие результатов теоретического и экспериментального исследований с результатами других авторов;

**использованы** сведения, содержащиеся в литературе по рассматриваемой тематике и лицензированный программный комплекс SolidWorks Flow Simulation.

**Личный вклад соискателя состоит** в разработке метода проектирования активного элемента энергетической установки, работающей в двух средах; в определении на основе экспериментальных исследований

энергии, затрачиваемой на мартенситные превращения и на совершение механической работы в интервале температур обратных фазовых превращений; в определении требований к качеству сплава и полуфабриката для активных элементов, работающих в составе энергетической установки; в планировании и подготовке представленных в работе экспериментов, обработке и анализе экспериментальных данных; в проведении расчетов и сравнении результатов расчетов с экспериментальными данными.


**На заседании 26 ноября 2014 года диссертационный совет принял решение присудить Зенину В.А. ученую степень кандидата технических наук.**

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 4 докторов технических наук по специальности 01.02.06 «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры», участвовавших в заседании, из 17 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение учёной степени 17, против присуждения учёной степени 0, недействительных бюллетеней 0.

Заместитель председателя диссертационного  
совета Д 212.125.05 д.т.н., профессор

 **В.В. Фирсанов**

Ученый секретарь диссертационного  
совета Д 212.125.05 к.ф.-м.н., доцент

 **Г.В. Федотенков**

26 ноября 2014 г.

