

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 доктора технических наук.

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от «15» октября 2014 № 6

О присуждении Мироновой Любови Ивановне, гражданке России, ученой степени доктора технических наук.

Диссертация «Исследование и оптимизация высокоградиентных термонапряженных состояний сочлененных оболочечных конструкций в технологических процессах энергетического машиностроения» по специальности 01.02.04 «Механика деформируемого твердого тела» принята к защите 03 июля 2014 г., протокол № 5, 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 Миронова Любовь Ивановна, 1957 года рождения, гражданка России, защитила диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук «Расчетно-экспериментальный метод определения температурных напряжений элементов конструкций технологической оснастки в процессе формования литых заготовок» в 2011 году в диссертационном совете на базе Московского государственного открытого университета, работает доцентом кафедры «Естественные и гуманитарные научные дисциплины» в образовательном консорциуме

«Среднерусский университет» АНО ВПО «Московский областной гуманитарный институт», Министерство образования и науки РФ.

Диссертация выполнена на кафедре «Теоретическая и прикладная механика» Подольского института (филиала) ФГБОУ ВПО «Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ)», Министерство образования и науки РФ.

Научный консультант – Федик Иван Иванович, член-корреспондент РАН РФ, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник ФГУП НИИ НПО «Луч», г. Подольск Московской области.

Официальные оппоненты:

1. **Морозов Евгений Михайлович**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Физика прочности» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ», г. Москва.

2. **Синицын Евгений Николаевич**, доктор технических наук, старший научный сотрудник, начальник лаборатории прочности и сейсмической безопасности Открытого акционерного общества «Всероссийский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт атомного энергетического машиностроения (ОАО «ВНИИАМ»)), г. Москва.

3. **Белашова Ирина Станиславовна**, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Технология конструкционных материалов» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», г. Москва.

Ведущая организация Открытое акционерное общество «Ордена Трудового Красного Знамени и ордена труда ЧССР» опытное конструкторское бюро «Гидропресс» (ОАО ОКБ «Гидропресс»), г. Подольск Московской области, в своем положительном заключении, подписанным

Зубченко Александром Степановичем, доктором технических наук, профессором, заместителем директора по науке, указала, что проведенные соискателем исследования и оптимизация термонапряженных состояний сложных оболочечных конструкций с целью минимизации температурных напряжений и упругопластических деформаций на основе оптимизационных моделей, адаптированных к реальным условиям технологических процессов энергетического машиностроения, являются актуальными и важными задачами в создании высокотехнологичного энергетического оборудования, полученные результаты и практические рекомендации автора способствуют развитию инновационных проектов сварочного и заготовительного производства.

Соискатель имеет 49 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 45, из них 27 – опубликованных в рецензируемых научных изданиях, 22 работы опубликованы в других отечественных и зарубежных изданиях.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Миронова Л.И., Иванов А.С. К вопросу о выборе оптимальных размеров элементов конструкций форм литья. – Проблемы машиностроения и автоматизации. №2, 2009. С. 70-73 (перечень ВАК РФ).

2. Миронова Л.И. Температурные поля в матрице переменной толщины при изготовлении изделий методом литья. – Проблемы машиностроения и автоматизации. №3, 2009. С. 101-103 (перечень ВАК РФ).

3. Миронова Л.И. Исследование остаточных напряжений в литых биметаллических конструкциях формообразующих литейной оснастки. – Проблемы машиностроения и автоматизации. №1, 2010. С. 107-108 (перечень ВАК РФ).

4. Миронова Л.И., Ковалев В.И. Коэффициент интенсивности напряжений в структурно-неоднородных материалах. – Проблемы машиностроения и автоматизации. №3, 2010. С. 97-99 (перечень ВАК РФ).

5. Иванов С.Д., Миронова Л.И. Комплексные исследования приповерхностного слоя трубных элементов конструкций, работающих в условиях действия высоких температур и давлений. – Проблемы машиностроения и автоматизации. №4, 2010. С. 89-92 (перечень ВАК РФ).

6. Миронова Л.И., Крюкова Т.И., Крюков Р.В. Нагрузочное устройство. Патент на изобретение №2453823, 20.06.2012.

7. Миронова Л.И. Оценочные параметры в одном уточненном методе определения предельного состояния конструкции. – Проблемы машиностроения и автоматизации. №4, 2012. С. 107- 111 (перечень ВАК РФ).

8. Миронова Л.И. Параметры оптимального управления термонапряженным состоянием конструкций оболочечного типа при термическом нагружении. – Проблемы машиностроения и автоматизации. №1, 2013. С. 101-105 (перечень ВАК РФ).

9. Доброславский А.В., Иванов С.Д., Миронова Л.И. Расчет остаточных технологических напряжений в окрестности паяного шва теплообменника. Проблемы машиностроения и автоматизации. №2, 2013. С. 117-120 (перечень ВАК РФ).

10. Миронова Л.И., Иванов А.С. Влияние технологических дефектов на термонапряженное состояние многослойных цилиндрических конструкций. Проблемы машиностроения и автоматизации. №2, 2013. С. 121-125 (перечень ВАК РФ).

11. Миронова Л.И. Особенности решения температурной задачи в случае локального теплового нагружения двух полых пересекающихся цилиндрических оболочек вращения, одна из которых является несущей. – Обозрение прикладной и промышленной математики. Том 21, выпуск 1, 2014. С. 74-75.

12. Миронова Л.И. Экстремальная температурная задача в одном методе оптимального проектирования оболочечных конструкций. Проблемы машиностроения и автоматизации. №1, 2014. С. 126-130 (перечень ВАК РФ).

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

от ведущей организации Открытого акционерного общества «Ордена Трудового Красного Знамени и ордена труда ЧССР» опытное конструкторское бюро «Гидропресс» (ОАО ОКБ «Гидропресс»), отзыв положительный;

от официального оппонента, Морозова Евгения Михайловича, доктора технических наук, профессора кафедры «Физика прочности» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ», отзыв положительный;

от официального оппонента, Синицына Евгения Николаевича, доктора технических наук, старшего научного сотрудника, начальника лаборатории прочности и сейсмической безопасности Открытого акционерного общества «Всероссийский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт атомного энергетического машиностроения (ОАО «ВНИИАМ»), отзыв положительный;

от официального оппонента, Белашовой Ирины Станиславовны, доктора технических наук, доцента, профессора кафедры «Технология конструкционных материалов» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», отзыв положительный;

от проректора Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, доктора физико-математических наук, профессора, Георгиевского Дмитрия Владимировича, отзыв положительный;

от профессора кафедры «Основы конструирования деталей и узлов машин» ФГБОУ ВПО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана», доктора технических наук, Ряховского Олега Анатольевича, отзыв положительный;

от профессора кафедры инженерной теплофизики ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», доктора

технических наук, Кузьмы-Кичты Юрия Альфредовича, отзыв положительный;

от начальника научно-исследовательской лаборатории прочности ОАО «Красная звезда» Госкорпорации «Росатом», доктора технических наук, профессора Кошелкина Владимира Владимировича, отзыв положительный;

от заведующего лабораторией надежности и долговечности при термомеханических циклических воздействиях Института машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук доктора технических наук, профессора Москвитина Геннадия Викторовича, отзыв положительный;

от заместителя генерального директора ГНЦ РФ НПО «ЦНИИТМАШ», директора института металлургии и машиностроения, кандидата технических наук Лебедева Андрея Геннадьевича, отзыв положительный;

от главного технолога ОАО «Машиностроительный завод «ЗиО Подольск», профессора НИЯУ «МИФИ», доктора технических наук, Терехова Виктора Михайловича, 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

- развиты и реализованы новые подходы в исследовании термонапряженного состояния элементов конструкций, подверженных действию высоких температур и адаптированных к технологическим операциям таким, как сварка и термическая обработка;

- применен новый расчетно – феноменологический метод в математическом моделировании предельных состояний конструкции, обусловленных действием локальных источников тепла высокой интенсивности;

- разработан универсальный подход к определению экстремальных температурных полей и сопоставимых уровней температурных напряжений.

- построены новые математические модели определения полей температурных напряжений и деформаций для двух пересекающихся цилиндрических оболочек с учетом особенностей изменения контура в местах сочленения и разнотолщинности меридиональной стенки.

- проведено теоретическое исследование напряженно-деформированного состояния сварной конструкции алюминиевого бака и определены поля упругих и упругопластических деформаций в зонах термического влияния с учетом особенностей наложения продольных и кольцевых сварных швов;

- проведено математическое обоснование построения оценочных весовых функций и показана целесообразность применения предложенного расчетно-феноменологического подхода в развитии уточненных методов исследования предельных термонапряженных состояний, обусловленных локальными высокоградиентными температурными воздействиями;

- проведены экспериментальные исследования термонапряженного состояния алюминиевой сварной трубной конструкции на основе корреляции механического и металлографического методов исследования;

- разработаны оригинальные методики, новые средства нагружения и измерения деформаций, подтвержденные патентом на изобретение.

В поступивших отзывах имеются следующие замечания:

1. Неверное утверждение (таблица 1.3), что «возникающие напряжения в процессе эксплуатации не должны превышать предела текучести». В нормативных документах отсутствует ограничение на местные (локальные) напряжения с точки зрения превышения предела текучести. Ограничены величины общих и местных мембранных и общих изгибных напряжений, вызываемых действием механических нагрузок. Местные приведенные напряжения ограничиваются косвенным образом через механизм усталости, который может привести к предельному состоянию – образованию макротрещины. Пластические же деформации в тонкостенных и не совсем

тонкостенных конструкциях могут привести к изменению формы, например к уменьшению проходного сечения.

2. В диссертации с недостаточной степенью раскрыт физический смысл «экстремального температурного параметра». В несвязанной постановке задачи термоупругости функционал упругой энергии деформирования строится на пространстве перемещений (так называемое Гильбертово пространство), который зависит от вида температурного поля. Если вид температурного поля заранее известен, то мы имеем «экстремальную температурную функцию» тем более, что на л.118 речь идет о «семействе экстремальных полей».

3. На стр. 153 неверно утверждается, что сжимающие остаточные напряжения на внутренней поверхности в местах стыка оболочек способствуют зарождению и развитию трещин.

4. При формулировках предельных состояний конструкции и материала не отражено появление совместного наличия разных видов деформации - упругой, пластической и разрушения - с ростом нагрузки (стр. 40, рис. 1.6).

5. Стр. 43. Более правильным был бы термин «функционал», вместо «интеграл» при обращении к разделу математики вариационное исчисление. Неудачно употребление термина внутренние напряжения без указания, о каких именно напряжениях идет речь, поскольку любые виды напряжений в теле внутренние (стр. 97).

6. В главе III (стр. 113) не раскрыт термин «исчезающее на бесконечности осесимметричное температурное поле».

7. В диссертации в некоторых случаях автор оперирует не совсем точными техническими терминами такими, как «сварная ванна» и «сварочный шов» (глава V, стр. 193, 194).

8. Не указаны назначение и эксплуатационные условия нагружения (давление, температура) ряда рассмотренных сосудов высокого давления.

9. В параграфе 6.6 (глава VI) проведена оптимизация сварной конструкции, допускающей два конструктивных исполнения. Результатом

проведенных оптимизационных мероприятий является снижение деформативности и размерной нестабильности конструкции в целом (ссылка автора на стр. 245). Однако при этом отсутствуют данные о том, каким образом проводилась и контролировалась оптимизация изготовления конструкции.

10. На эпюрах остаточных напряжений (рис. 7.16, стр. 284) проведено сравнение полученных экспериментальных и теоретических данных, но не указано по каким математическим моделям проводились расчеты остаточных напряжений.

11. При рассмотрении функционала (глава II, стр. 91) в выражении (2.67) первое слагаемое является функцией от переменной, записанной в виде $1/2 a(v, v)$, в то время как дальнейшее раскрытие сущности этой функции определяет ее как функцию от двух переменных $a(u, v)$. К тому же, приведенные формулы прокомментированы частично, что затрудняет прочтение пункта.

12. В приведенных формулах главы III, стр. 126 (3.54), (3.55) введена новая функция $\theta(\beta)$, которая не прокомментирована должным уровнем.

13. Разработанные адекватные расчетные модели в главе V позволяют определить параметры термонапряженного состояния активной зоны сварного соединения в каждом конкретном случае, а именно распределение температуры при сварке и характер деформирования сварного соединения. Автору при этом следовало бы оценить деформационную способность сварных соединений в интервале температур $20 \div 100^\circ\text{C}$, близких к условиям хранения доэксплуатационного периода конструкции, на основе имеющихся методик испытаний на релаксацию и ползучесть имитаторов зон сварных соединений, так как операции «вылеживания» изделий сопровождаются процессами релаксации и способствуют снижению уровней остаточных напряжений.

14. С точки зрения количественного вклада каждого фактора влияния на размерную нестабильность сварных соединений не учтены процессы,

сопровождающиеся эффектами микропластического деформирования дислокационного характера. Автору следовало бы провести анализ возникающих напряжений 1 рода в зонах метастабильных фазоструктурных образованиях и возможных как положительных, так и отрицательных их воздействий на общее напряженно-деформируемое состояние сварного соединения в целом.

15. Проведенные металлографические исследования сварного соединения показали наличие микроскопических трещин, пор и некоторых других дефектов структуры, размеры и концентрация которых значительно больше в зонах с повышенным остаточным состоянием. Автор связывает это обстоятельство с особенностями конструктивной формы, видом сварного шва и способом наложения валика. Между тем, во многих случаях подобные металлографические исследования позволяют выявить дефекты такие как: пережог металла, наличие окислов по границам зерен, засоренность неметаллическими включениями, связанные с техникой наложения сварного шва. Какие либо пояснения по этому вопросу в диссертации отсутствуют.

16. К формулам (12) и (13), стр. 17, 18, в автореферате не приведены условия, которым должны удовлетворять множители Лагранжа.

17. На эпюрах остаточных напряжений (рис. 24, стр. 36) кроме экспериментальных значений в скобках представлены расчетные данные. В автореферате отсутствует информация, по каким математическим моделям проводились подобные расчеты.

18. В кратком изложении исследования многослойной конструкции на предмет возникновения контактного давления между слоями в случаях образования натягов приведено только решение задачи упругопластического состояния многослойного цилиндра. Следовало бы указать, какой метод теории упругости использовался в этом решении и подход к интегрированию разрешающего уравнения.

19. В формулах предела пластического сопротивления слоя конструкции не определена величина пластической постоянной.

20. Отсутствие обоснования преимущества выбранного автором метода решения вариационной задачи в перемещениях, по сравнению с решениями по смешанным вариациям и вариациями по напряжениям.

21. В кратком описании методов оптимизации реальных сварных соединений (стр. 29, рис. 16) не приведено значение катета сварного шва.

22. При кратком изложении главы 5 автореферата автор делает ссылки на способы определения полей упругопластических и пластических деформаций в сварных зонах. Развернутое изложение этого вопроса в автореферате отсутствует. Следовало бы привести графическое распределение искомых величин хотя бы в одном конкретном случае.

23. В автореферате приведены результаты численного решения задачи оптимизации натурной сварной конструкции по температурным напряжениям, допускающих два конструктивных исполнения. Автору следовало бы вначале привести теоретические соотношения к определению параметров термонапряженного состояния и выделить особенности в решении поставленной задачи. Такие пояснения в автореферате диссертации не приводятся.

24. При кратком изложении шестой главы приводятся результаты оптимизации термонапряженных состояний сварных соединений реальных конструкций энергетического машиностроения на основе оптимального сопряжения двух оболочечных конструкций. Не приведены параметры катета в конкретных рассмотренных примерах (рис. 16, 17).

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 в реакторостроении и энергетическом машиностроении.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны:

- расчетно-экспериментальный метод исследования и оптимизации термонапряженных состояний сочлененных оболочечных конструкций, обусловленных локальными тепловыми воздействиями источников высокой интенсивности, сопоставимых с действиями источников сплавления металла в процессе сварки;
- экспериментальная методика исследования остаточного напряженно-деформированного состояния сварных оболочечных конструкций, позволившая повысить точность измерений с расширением границ применения к ряду сварных соединений из алюминиевых сплавов и легированных сталей;

предложены:

- подход к оценке предельных термонапряженных состояний оболочечных конструкций, обусловленных температурными воздействиями в технологических процессах энергетического машиностроения;
- расчетные методы и математические модели определения полей остаточных напряжений и деформаций в зонах технологического влияния для ряда сосудов высокого давления;

доказана перспективность использования рекомендуемых параметров рассматриваемых сварных конструкций в качестве факторов влияния на их термонапряженное состояние в обосновании прочности и продления эксплуатационного ресурса энергетических объектов.

Теоретическая значимость исследований обоснована тем, что:

доказана и экспериментально подтверждена эффективность использования экстремальных вариационных принципов механики в решении конкретных краевых задач термоупругости и оптимизации термонапряженных состояний пространственных цельносварных конструкций;

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то

есть с получением обладающих новизной результатов) **использован** комплекс существующих базовых положений вариационных методов, в том числе численных методов термоупругости и механики деформируемого твердого тела в исследовании и оптимизации высокоградиентных термонапряженных состояний сочлененных оболочечных конструкций, обусловленных температурными воздействиями;

изложены доказательства оценки точности приближенного решения изопериметрической задачи контурного пересечения пространственных элементов оболочечной конструкции, процедура построения весовых оценочных функций и алгоритмов оптимизации термонапряженных состояний сочлененных оболочечных конструкций;

раскрыты и реализованы механизмы оптимизации в решении конкретных оптимизационных задач для оболочечных конструкций энергетического машиностроения;

на примере приближенного аналитического решения изопериметрической задачи **изучено** влияние пространственных расположений сочлененных структурных элементов на термоупругие свойства оболочечной конструкции в условиях действия локальных тепловых нагрузений;

проведена модернизация и разработаны новые технические средства нагружения и измерения остаточных напряжений при экспериментальном исследовании напряженно-деформированного состояния сварных оболочечных конструкций.

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

результаты диссертационной работы внедрены на ряде предприятий энергомашиностроения и военно-промышленного комплекса:

1. ОАО «ИНЦ ТЕМП» г. Москва, 2014г.
2. ОАО «ПЭМЗ спецмаш», г. Подольск Московской области, 2014г.
3. ЗАО «Опыт» ОАО «Машиностроительный завод «Зио – Подольск» г. Подольск Московской области, 2013г.
4. ООО «Инструмент» г. Подольск Московской области,

2013г. **5.** ООО «Компания Корд» Подольский район, поселок Львовский Московской области, 2013г.;

определены направления практического использования результатов исследований и оптимизации высокоградиентных термонапряженных состояний сочлененных оболочечных конструкций, обусловленных технологическими факторами влияния, при проектировании объектов энергетического машиностроения и разработке инновационных технологий их изготовления;

представлены новые методы расчета и экспериментальные методики исследования применительно к пространственным цельносварным конструкциям оболочечного типа;

практические рекомендации и инженерные решения в задачах снижения деформативности сварных оболочечных конструкций энергетического машиностроения.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- экспериментальные результаты исследования получены на сертифицированном оборудовании с использованием стандартных инструментальных средств нагружения образцов, измерения деформаций, и обоснованы многократной тарировкой измерительных датчиков и калибровкой измерительных сигналов;

- близость результатов экспериментального исследования остаточных напряжений к теоретическим расчетным данным;

при исследовании особенностей сочленения структурных элементов в виде разностенности и перепадов толщин полученные результаты согласуются с опубликованными расчетными и экспериментальными данными других авторов;

теория построена на классических формулировках теории термоупругости и вариационных методов механики;

идея базируется на адаптации экстремальных принципов и методов механики деформируемого твердого тела к анализу высокоградиентных

термонапряженных состояний сочлененных оболочечных конструкций в технологических процессах энергетического машиностроения;

использовано сравнение авторских результатов теоретического и экспериментального исследования высокоградиентных термонапряженных состояний сочлененных оболочечных конструкций с полученными ранее данными;

установлено качественное и количественное соответствие результатов теоретического и экспериментального исследования остаточных напряжений сварных оболочечных конструкций с результатами, представленными в независимых источниках;

использованы современные методики сбора и обработки исходной информации и лицензированные программные комплексы LABVIEW, ANSYS.

Личный вклад соискателя состоит в:

- развитию и осуществлении феноменологического подхода в моделировании термонапряженных состояний для оценки предельных параметров переходных процессов из упругого в упругопластическое состояние;

- разработке подхода к определению экстремальных температурных полей на основе минимизации функционала упругой энергии деформации оболочки в энергетическом пространстве, позволяющего применить единую методику решения температурной задачи;

- построении новых математических моделей определения полей температурных напряжений и деформаций в местах сочленения элементов конструкций с геометрической неоднородностью и температурно зависимыми физико-механическими свойствами материалов.

Диссертация **охватывает** основные вопросы поставленной научной задачи и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается наличием последовательных теоретических и экспериментальных

исследований, формулировкой прикладных задач и их приближенным решением, а также взаимосвязанностью сделанных выводов.

На заседании 15 октября 2014 года диссертационный совет принял решение присудить Мироновой Л.И. ученую степень доктора технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 6 докторов технических наук по специальности 01.02.04 «Механика деформируемого твердого тела», участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение учёной степени 15, против присуждения учёной степени 1, недействительных бюллетеней 0.

Председатель диссертационного

совета Д 212.125.05 д.ф.-м.н., профессор

 Д.В. Тарлаковский

Ученый секретарь диссертационного

совета Д 212.125.05 к.ф.-м.н., доцент

 Г.В. Федотенков

15 октября 2014 г.

