

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА  
Д 212.092.07 НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«КОМСОМОЛЬСКИЙ-НА-АМУРЕ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» ПО  
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

Аттестационное дело № \_\_\_\_\_

Решение диссертационного совета от 19 декабря 2018 года № \_\_\_\_\_

**О присуждении** Щербатюк Галине Анатольевне, гражданке Российской Федерации, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Условие максимальных приведенных напряжений в качестве средства расчетов одномерных неустановившихся температурных напряжений в упругопластических цилиндрических телах» по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела принята к защите 15 октября 2018, протокол № 10, диссертационным советом Д 212.092.07 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Комсомольский-на-Амуре государственный университет, «КнАГУ», 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27, приказ Минобрнауки России от 24 июня 2016 г. № 787/нк.

Соискатель Щербатюк Галина Анатольевна 1979 года рождения, в 2003 году окончила Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет» с присуждением квалификации инженер по специальности «Динамика и прочность машин». В 2006 году закончила очную аспирантуру при Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет». Работает старшим преподавателем кафедры «Механика и анализ конструкций и процессов» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Комсомольский-на-Амуре государственный университет».

Диссертация выполнена на кафедре «Механика и анализ конструкций и процессов» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Комсомольский-на-Амуре государственный университет».

**Научный руководитель** – Ткачева Анастасия Валерьевна, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории механики деформирования Института машиностроения и металлургии ДВО РАН, г. Комсомольск-на-Амуре

**Научный консультант** – Буренин Анатолий Александрович, доктор физико-математических наук, член-корр. РАН, профессор, главный научный сотрудник лаборатории

механики деформирования Института машиностроения и металлургии ДВО РАН г. Комсомольск-на-Амуре

**Официальные оппоненты:**

Сенашов Сергей Иванович, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой «Информационные экономические системы», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный аэрокосмический университет им. Решетнева», г. Красноярск;

Захаров Игорь Николаевич доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Сопротивление материалов», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «ВолгГТУ»), г. Волгоград;

**дали положительные отзывы на диссертацию.**

**Ведущая организация** - ФГБУН Институт проблем сверхпластичности металлов Российской Академии Наук (ИПСМ РАН) г. Уфа в своём положительном заключении, подписанным Назаровым А.А., доктором физико-математических наук, зам. директора по научной работе Института проблем сверхпластичности металлов Российской академии наук и Дмитриевым С.В., доктором физико-математических наук, зав. лабораторией «Нелинейная физика и механика материалов», Института проблем сверхпластичности металлов Российской академии наук, указала, что диссертация Щербатюк Г.А. соответствует паспорту специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела, представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, выполненную на актуальную тему, в которой разработана методика решения задач теории температурных напряжений, где условие текучести максимальных приведенных напряжений применяется в качестве средства расчетов одномерных неустановившихся температурных напряжений в упругопластических цилиндрических телах.

Диссертация является самостоятельной законченной научно-квалификационной работой, соответствует критериям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Щербатюк Галина Анатольевна заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела.

Соискатель имеет 10 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 10 работ, из которых 5 работ в рецензируемых научных изданиях из списка ВАК, 1 статью в издании, входящем в международную систему цитирования Web of Science и Scopus. Авторский вклад в подготовку работ состоит в непосредственном участии при постановке

задач исследований, а также выполнении теоретической и вычислительной части работы и интерпретации вычислений.

Наиболее значимые работы:

1. Щербатюк, Г. А. Условие пластичности максимальных приведенных касательных напряжений в качестве средства расчетов эволюции плоских напряженных состояний / Е. Е. Абашкин, А. В. Ткачева, Г. А. Щербатюк // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Серия: Науки о природе и технике. – 2018. – № II-1(34). – С. 51–62.

2. Щербатюк, Г. А. К использованию кусочно-линейных пластических потенциалов в нестационарной теории температурных напряжений / А. А. Буренин, А. В. Ткачева, Г. А. Щербатюк // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Физико-математические науки. – 2018. – Т. 22. – № 1. – С. 23–39.

3. Щербатюк, Г. А. К расчету неустановившихся температурных напряжений в упругопластических телах / А. А. Буренин, А. В. Ткачева, Г. А. Щербатюк // Вычислительная механика сплошных сред. – 2017. – Т. 10. – № 3. – С. 245–259.

4. Щербатюк, Г. А. Об особенностях использования условия максимальных приведенных касательных напряжений в теории неустановившихся температурных напряжений / А. А. Буренин, А. В. Ткачева, Г. А. Щербатюк // Вестник Чувашского государственного педагогического университета имени И. Я. Яковлева. Серия: Механика предельного состояния. – 2018. – № 2(36). – С. 74–90.

5. Щербатюк, Г. А. Температурные напряжения в упругопластической трубе в зависимости от выбора условия пластичности / Е. П. Дац, Е. В. Мурашкин, А. В. Ткачева, Г. А. Щербатюк // Известия Российской академии наук. Серия: Механика твердого тела. – 2018. – № 1. – С. 32–43.

6. Щербатюк, Г. А. Расчет напряженно-деформированного состояния термоупругопластического цилиндра в рамках критерия текучести Мизеса / Е. П. Дац, А. В. Ткачева, Г. А. Щербатюк // Фундаментальная механика в качестве основы совершенствования промышленных технологий, технических устройств и конструкций: материалы II Дальневосточной школы-семинара, Комсомольск-на-Амуре, 11–15 сентября 2017 г. – Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВО «КНАГТУ», 2017. – С. 79–81; 88–90.

7. Щербатюк, Г. А. Об особенностях использования кусочно-линейных пластических потенциалов в расчетах неустоявшихся температурных напряжений / М. Каинг, А. В. Ткачева, Г. А. Щербатюк // Материалы XX Юбилейной Международной конференции по

вычислительной механике и современным прикладным программным системам (ВМСППС'2017), 24–32 мая 2017 г., г. Алушта. – М. : Изд-во МАИ-Принт, 2017. – С. 246–248.

8. Щербатюк, Г. А. Особенности использования кусочно-линейных пластических потенциалов в расчетах неустоявшихся температурных напряжений / М. Каинг, А. В. Ткачева, Г. А. Щербатюк // XLIII Гагаринские чтения, 05–20 апреля, 2017 г.: материалы Международной молодежной научной конференции. Институт проблем механики имени А. Ю. Ишлинского РАН. – М.: ФГБУН «Институт проблем механики им. А. Ю. Ишлинского Российской Академии наук», 2017. – С. 40–41.

9. Щербатюк, Г. А. Остаточные напряжения в материале толстостенной трубы, подвергнутой неравномерному разогреву / А. В. Ткачева, Г. А. Щербатюк // Фундаментальная механика в качестве основы совершенствования промышленных технологий технических устройств и конструкций : материалы III Дальневосточной школы-семинара, Комсомольск-на-Амуре, 18–21 сентября 2018 г. – Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВО «КнАГУ», 2018. – 126 с. – ISBN 978-5-7765-1340-4.

10. Щербатюк, Г. А. Оптимизация расчетов в задаче горячей посадки / Г. А. Щербатюк // Фундаментальная механика в качестве основы совершенствования промышленных технологий технических устройств и конструкций: материалы III Дальневосточной школы-семинара, Комсомольск-на-Амуре, 18–21 сентября 2018 г. – Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВО «КнАГУ», 2018. – 126 с. – ISBN 978-5-7765-1340-4.

**На диссертацию и автореферат поступили отзывы** (все положительные, указывается основное отражение замечаний):

Отзыв на диссертацию ведущей организации Федерального государственного унитарного предприятия ФГБУН «Институт проблем сверхпластичности металлов Российской Академии Наук», имеет основные замечания:

1. Уже отмечалось, что без должной аргументации принимается, что предел текучести зависит от температуры, то есть не постоянен. Насколько правомерно в таком случае считать постоянными другие термомеханические параметры (коэффициент линейного расширения, упругие модули и др.)? Необходимо сопоставление диапазонов изменения различных параметров с температурой. 2. Основное внимание в диссертации уделяется методике построения расчетов в ущерб механическим следствиям. Так, например, подробно обсуждается момент возникновения пластического течения в соответствии ребру поверхности нагружения и в то же время практически незамеченным оказывается явление возникновения повторного (обратного) пластического течения при остывании и разгрузке тела или сборки. Но последнее является механическим явлением в отличие от первого, являющегося только следствием метода расчетов при выборе того

или иного условия пластичности. Следовало бы указать условия возникновения повторных течений и обсудить их. 3. В работе принимается квадратичная зависимость предела текучести материала от температуры. Однако отсутствует обсуждение того, насколько точно квадратичная зависимость описывает экспериментальные данные для рассмотренного материала. Нет аргументации в пользу рассмотрения квадратичной зависимости и отказа от более простой линейной зависимости, использовавшейся ранее. 4. В тексте диссертации присутствуют опечатки. Такие погрешности не изменяют смысла сказанного и не умаляют результатов проделанной работы, но производят негативное впечатление.

**Отзыв на диссертацию официального оппонента Сенашова Сергея Ивановича** имеет основные замечания: 1. В формуле (2.9) имеются ошибки. 2. Формулы (2.18), (2.21)–(2.23), (2.31), (2.37) и некоторые другие позволяют вычислить перемещения вдоль оси  $x$ . Из них вытекает, что перемещения зависят от переменной  $t$ . Но из главы 1 следует, что силами инерции можно пренебречь. На точных решениях можно было бы проверить это условие. В диссертации это не сделано. 3. В тексте диссертации и автореферата имеются опечатки.

**Отзыв на диссертацию официального оппонента Захарова Игоря Николаевича** имеет основные замечания: 1. В диссертации отсутствует обоснование и сравнительный анализ областей применимости различных условий пластичности (классических и неклассических), используемых при решении задач термомеханики. В качестве основного условия пластичности в работе рассматривалось условие максимальных приведенных напряжений (Ишлинского–Ивлева). Автором показано несколько конкретных задач, при решении которых использование данного условия дает возможность получить более эффективное решение, чем в иных случаях. Однако из текста диссертации не ясно, насколько в принципе широк круг таких задач. Существуют ли в рамках рассматриваемой теории неустановившихся напряжений задачи, для которых применение условия максимальных приведенных напряжений может сопровождаться ростом вычислительных затрат, алгоритмическими трудностями или противоречиями (как, например, в случае с условием Треска–Сен-Венана)? 2. Отсутствует развернутый сопоставительный и верификационный анализ результатов, полученных при помощи разработанных в диссертации методов, с аналогичными результатами на основе альтернативных подходов — существующих аналитических и численных решений тестовых задач, литературных данных, модельных и натуральных экспериментов и т.д. Например, для практически значимых в инженерных приложениях задач о температурных и остаточных напряжениях при нагреве полого цилиндра, при горячей посадке вал – втулка, кольцо – кольцо и т.д., сопоставительный анализ дается лишь по результатам однотипных расчетов с учетом двух различных условий пластичности. При этом вопросы количественного и качественного соответствия

полученных расчетных результатов реальным (экспериментальным) распределениям активных и остаточных напряжений, натягов, температур в соответствующих узлах и элементах конструкций не рассматриваются.

Отзыв на автореферат Локощенко Александра Михайловича, доктора физико-математических наук, профессора, заведующего лабораторией ползучести и длительной прочности НИИ механики МГУ имени М.В. Ломоносова, лауреата государственно премии РСФСР, Почетного работника науки и техники РФ и Фомина Леонида Викторовича, кандидата физико-математических наук, старшего научного сотрудника лаборатории ползучести и длительной прочности НИИ механики МГУ имени М.В. Ломоносова содержит замечания: 1. Общая рекомендация. Желательно соотнести предлагаемый подход с подходом о сингулярной пластичности, описанный В.Д. Ключниковым в его монографии "Математическая теория пластичности" 1979 г. В указанной монографии имеется параграф об определяющих соотношениях в конической точке поверхности нагружения, в том числе и в двумерном случае, что соответствует описанным автором диссертации процессам на ребре призмы Ивлева - Ишлинского. 2. В автореферате не отражено наличие каких-либо проведенных или рассмотренных в диссертации экспериментов. В какой мере теоретические изыскания согласуются с результатами известных экспериментов? 3. По тексту автореферата часто встречаются громоздкие, трудночитаемые предложения. В ряде из них в некоторых местах отсутствуют предлоги, знаки препинания и отсутствует согласованность падежей. Также найдено много опечаток в тексте автореферата.

Отзыв на автореферат Трусова Петра Валентиновича доктора физико-математических наук, профессора, заведующего кафедрой математического моделирования систем и процессов Пермского национального исследовательского политехнический университета содержит замечания: 1. При записи входящих в математическую постановку задачи в компонентной форме необходимо указывать системы отсчета и систему координат. При записи соотношений (1), вероятно, принята декартова ортогональная система координат (хотя бы потому, что не различается ко- и контравариантные компоненты), тогда как результаты решения приведены в цилиндрической системе координат. 2 К сожалению, в автореферате не обосновывается приемлемость применения теории пластического течения (соотношение (1<sub>4</sub>)), не обсуждается вопрос о применении принципа градиентальности при нахождении изображающей точки в пространстве напряжений на ребре призмы текучести (при нарушении аналитичности). При записи определяющих соотношений, кроме температурного изменения объема, нигде более не отражены зависимости от температуры. Для анализа процесса горячей посадки необходимо сформулировать постановку контактной задачи. 3. К сожалению, работа не лишена грамматических ошибок и опечаток, например, на с.9 в одном абзаце опечатки в 4 словах.

Отзыв на автореферат Артемова Михаила Анатольевича доктора физико-математических наук, профессора, заведующего кафедрой программного обеспечения и администрирования информационных систем Воронежского государственного университета содержит замечания: 1. Имеется некоторое количество опечаток в тексте и формулах. 2. Также можно отметить, что текст содержит отдельные не очень удачные синтаксические конструкции затрудняющие прочтение материала. 3. В работе приведены графики распределения напряжений. Интересными были бы и графики для деформаций.

Отзыв на автореферат Радаева Юрия Николаевича, доктора физико-математических наук, профессора, ведущего научного сотрудника лаборатории моделирования в механике деформируемого твердого тела Института проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН (г. Москва) замечаний не содержит.

Отзыв на автореферат Рогового Анатолия Алексеевича, доктора физико-математических наук, профессора, заведующего лабораторией нелинейной механики деформируемого твердого тела Института механики сплошных сред Уральского отделения РАН – филиала ФГБУН Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения РАН содержит замечания: 1. Основные соотношения в первой главе представлены в декартовом базисе. Лучше было бы их записать в безындексной форме. 2. В автореферате символом  $k$  обозначен предел текучести, но не указан какому процессу (растяжению или сдвигу) соответствует этот предел.

Отзыв на автореферат Князевой Анны Георгиевны, доктора физико-математических наук, профессора, главного научного сотрудника ИФПМ СО РАН имеет по работе вопросы и замечания: 1. Возможно ли использование предложенной методики для случая, когда в условиях неоднородного и постоянно изменяющегося поля температуры наблюдаются фазовые переходы? 2. В автореферате встречаются опечатки.

В отзыве на автореферат Шитиковой Марины Вячеславовны, доктора физико-математических наук, профессора, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», руководителя международного научного центра по фундаментальным исследованиям в области естественных и строительных наук имеется замечание: «На странице 8 автор пишет: «В теории температурных напряжений связанностью процессом деформирования и теплопроводности пренебрегают». Однако это не совсем так. Наряду с «несвязанными» теориями температурных напряжений развиваются и теории, учитывающие связанность этих явлений. Более правильно было бы написать, что в «данной работе связанность полей температуры и деформаций не учитывалась».

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что официальные оппоненты являются компетентными специалистами в исследуемой области, а

ведущая организация широко известна достижениями работающих в ней специалистов в области науки, соответствующей тематике диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

**разработана** методика расчетов неустановившихся температурных напряжений в упругопластических цилиндрических деталях, основанная на использовании классического кусочно-линейного условия пластического течения максимальных приведенных напряжений с учетом зависимости предела текучести от температуры;

**обоснована** вычислительная процедура последовательными шагами по времени без дискретизации всех возникающих расчетных областей и, следовательно, без обращения к приближенным (кусочно-разностным, конечно-элементным) численным методам расчета;

**установлены** возможности получения расчетных значений изменяющихся температурных напряжений, включая остаточные напряжения, согласно предложенной методике там, где их невозможно получить при использовании классических условий течения Треска-Сен-Венана;

**предложены** алгоритмические приемы отслеживания мест и моментов времени зарождения (исчезновения) упругопластических границ и поверхностей, разделяющих область пластического течения на части при переходе напряженных состояний с грани поверхности нагружения на ребро и далее на иную грань;

**получены** численно-аналитические решения ряда новых краевых задач теории температурных напряжений.

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

**изложены** особенности расчетов быстро изменяющихся температурных напряжений, диктуемые использованием условий пластического течения максимальных приведенных напряжений, и тем самым восполнен имевшийся пробел в развитии фундаментальной теории пластичности;

**доказано**, что во всех возможных областях обратимого и необратимого деформирования цилиндрических упругопластических тел **возможна запись** одномерного уравнения равновесия в перемещениях с установлением после их интегрирования конечных аналитических зависимостей, связывающих деформации и напряжения с распределением температуры;

**установлены** условия зарождения и развития повторных (обратных) пластических течений при остывании и разгрузке цилиндрических тел, подвергавшихся термомеханическим воздействиям.

**Применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использованы экспериментально-теоретические методы:**

- использована классическая математическая модель упругопластического тела Прандтля – Рейса, дополненная температурными зависимостями, а именно: соотношения закона Гука заменены зависимостями закона Дюамеля – Неймана, приняты соотношения ассоциированного с кусочно-линейной поверхностью нагружения (наклонной призмой Ивлева в пространстве главных напряжений) закона пластического течения, в которых предел текучести задается эмпирической зависимостью от температуры;

- принято предположение о незначительности производства тепла за счет необратимого деформирования в сравнении с теплом, получаемым деформируемым телом от внешних источников, что позволило провести исследование в рамках теории температурных напряжений (в рамках несвязанной теории).

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

**разработана методика** численно-аналитических расчетов изменяющихся температурных напряжений, позволяющая прогнозировать результаты технологической операции сборки цилиндрических деталей способом горячей посадки, когда материалы элементов сборки могут деформироваться необратимо;

**указаны** особенности расчетов неустановившихся температурных напряжений в упругопластических телах, связанные с учетом зависимости предела текучести от температуры и использованием условия пластического течения максимальных приведенных напряжений, которые необходимы для создания алгоритмов и программ расчетов технологических операций, основанных на интенсивных термомеханических воздействиях на материалы (горячая штамповка, сборка и т.д.)

**Оценка достоверности результатов выявила:**

**математическая модель** изучаемых процессов основана на классических подходах теории идеальной пластичности;

**принятые обобщения** классической модели не противоречат положениям и выводам фундаментальной механике деформируемых тел, законам термодинамики и их следствиям;

**вносимые допущения** вполне укладываются в рамки технологических условий ряда операций промышленного производства и не содержат таким способом спорных положений.

**Личный вклад** соискателя состоит:

- в выводе зависимостей, следующих из соотношений математической модели и связывающих распределения напряжений и деформаций в каждый рассчитываемый момент времени с распределениями температуры;

