

ОТЗЫВ

Официального оппонента на диссертацию Чернышова Данила Алексеевича «Исследование процесса деформирования сферических тел со сложной реологией, подверженных воздействию нестационарного температурного поля», представленную к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8 – Механика деформируемого твердого тела

Актуальность работы.

Исследование Чернышова Д. А. актуально ввиду постоянного роста потребностей промышленности в разработке инновационных технологий обработки материалов и модернизации методик инженерных расчётов. Современные изделия подвергаются разнообразным видам механических и температурных нагрузок, особенно в экстремальных эксплуатационных условиях. Традиционные подходы, основанные исключительно на предположении о линейно-упругом поведении материалов, часто оказываются неэффективными, что вызывает необходимость учёта сложных реологических свойств, таких как вязкопластичность и упрочнение.

Современные производственные процессы требуют тщательного изучения динамики термдеформирования твёрдых тел, что позволит повысить точность инженерных расчётов, минимизировать расходы на производство и улучшить качество продукции. Данная работа направлена именно на решение этих проблем путём совершенствования методики анализа напряжённо-деформированного состояния твёрдых тел с учётом сложного взаимодействия реологических факторов и температурных полей.

Краткий анализ содержания работы.

Данная диссертация представляет собой комплексное исследование, направленное на изучение процесса термдеформирования сферических тел с комплексной реологией, подвергнутых действию нестационарных температурных полей. Основной объект исследования – сферы различной конфигурации (сплошные и полые), выполненные из материалов, демонстрирующих сложное сочетание упругих, вязких и пластических свойств.

Всю работу можно условно разделить на следующие этапы:

1. Постановка задач. Автор формулирует цель исследования – развитие математического аппарата теории температурных напряжений для материалов с комбинированными реологическими свойствами. Особое внимание уделяется постановке краевых задач теплопроводности и термомеханики для сферических тел.

2. Разработка математической модели. Основное содержание первой главы посвящено выводу общих уравнений теории температурных напряжений, которые охватывают взаимодействие механизма упругости, вязкости и пластичности. Важным элементом является учёт сферической симметрии, позволяющей значительно упростить систему уравнений.

3. Решение краевых задач. Во второй и третьей главах подробно раскрываются аналитические решения задач теплопроводности и механики

твёрдого тела для сплошных и полых сферических тел. Определяются критические условия, при которых появляются необратимые деформации и формируются упругопластические границы.

4. Численное моделирование. Проводится верификация аналитических решений с помощью численных методов, основанных на методе конечных элементов. Эта процедура необходима для подтверждения достоверности выведенных аналитических зависимостей и обеспечивает дополнительную уверенность в правильности предложенных решений.

5. Проверка сходимости и точности. Автор акцентирует внимание на доказательстве применимости рассмотренных методов, а также определении количества членов ряда, обеспечивающего необходимую точность вычислений. Показано, что предложенные функциональные ряды сходятся, что даёт основания считать полученные результаты надёжными.

6. Обобщённые выводы. В заключении подводятся итоги проделанной работы, подчеркиваются ключевые научные достижения и практические перспективы внедрения предложенных методов в инженерные расчёты и проектирование.

Научная новизна работы.

Научная новизна обусловлена несколькими ключевыми факторами:

– Впервые получены аналитические решения краевых задач теплопроводности и механики твёрдого тела для сплошных и полых сферических тел с линейной и полиномиальной зависимостью предела текучести от температуры.

– Определены аналитические выражения для описания температурных напряжений с учётом упрочняющегося и вязкого механизмов деформирования.

– Разработан подход к последовательному развитию областей с разными реологическими свойствами и установлению положений упругопластических границ.

– Получены оценки сходимости применённых функциональных рядов и необходимые критерии для обеспечения необходимой точности расчёта.

Эти результаты позволяют глубже понять динамику термомодеформирования материалов и способствуют созданию более эффективных инженерных методик проектирования и расчёта конструкций.

Практическая значимость работы очевидна. Полученные решения и выявленные закономерности могут быть использованы для оптимизации технологических процессов термообработки и горячего деформирования деталей сферической и близкой к ней формы с целью управления остаточными напряжениями; в качестве верификационных примеров для разработчиков программных комплексов конечно-элементного анализа; для совершенствования нормативных методик расчетов на прочность.

Достоверность и апробация результатов.

Достоверность обоснована комплексно: строгим математическим выводом, корректностью применяемых методов, успешными предельными

переходами к известным частным случаям и, что наиболее убедительно, согласием с результатами численного моделирования. Предложенные автором диссертации решения аргументированы и оценены по сравнению с другими известными решениями.

Апробация работы соответствует требованиям: основные результаты доложены на 4 научных конференциях различного уровня и опубликованы в 8 научных работах, включая рецензируемые журналы.

Соответствие содержания диссертации паспорту специальности.

Диссертация Д.А. Чернышова соответствует паспорту специальности 1.1.8 – Механика деформируемого твердого тела, пункты:

3. Задачи теории упругости, теории пластичности, теории вязкоупругости.

11. Математическое моделирование поведения дискретных и континуальных деформируемых сред при механических, тепловых, электромагнитных, химических, гравитационных, радиационных и прочих воздействиях.

12. Вычислительная механика деформируемого твёрдого тела.

Вопросы и замечания по работе.

После ознакомления с работой у официального оппонента возникли следующие вопросы и замечания:

1. В работе получены комплексные аналитические решения. Какие из выявленных закономерностей или зависимостей автор считает наиболее важными с инженерной точки зрения? Например, существует ли оптимальный (с точки зрения минимизации пиковых напряжений) закон изменения температуры поверхности, который можно вывести из анализа решений?

2. Целесообразно рассмотреть дополнительные сценарии нагружения и подтвердить универсальность предложенных методов.

3. В работе указано, что из всех физико-механических свойств от температуры зависит только предел текучести. Рассматривались ли случаи, когда с ростом температуры изменяются и другие параметры среды?

4. На некоторых графиках распределения напряжений в телах заметны незначительные скачки значений на упругопластических границах. Рекомендуются доработать применяемые в работе численные методы для устранения данной особенности.

5. В названии и тексте работы фигурирует термин «сложная реология». Не считает ли автор необходимым конкретизировать, что под этим понимается именно сочетание упругости, пластичности с упрочнением и вязкости в рамках одной модели, чтобы избежать чрезмерно широкого толкования?

Приведенные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертации и автореферата, который правильно отражает содержание диссертации.

Общее заключение официального оппонента по результатам.

Проведенное исследование, его результаты и выводы полностью соответствуют критериям, установленным в п. 9 Положения «О присуждении учёных степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842. Автор продемонстрировал

глубокие профессиональные знания, умение ставить и решать сложные научные задачи, владение современным математическим аппаратом.

Диссертация Чернышова Данила Алексеевича является завершенной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи механики деформируемого твердого тела о развитии областей с разными реологическими свойствами и установлению положений упругопластических границ, а ее автор достоин присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8 – Механика деформируемого твердого тела.

Выражаю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Чернышова Данила Алексеевича, и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент
кандидат физико-математических наук
(01.02.04 – механика деформируемого твердого
тела), начальник бюро,
АО «Конструкторское бюро приборостроения
им. академика А. Г. Шипунова»

10.03.2026



Глаголев Леонид Вадимович

300001, г. Тула, ул. Щегловская засека, д. 59.
Телефон: +7 (910) 160-11-88
E-mail: glagoleff.leo@yandex.ru
АО «Конструкторское бюро приборостроения
им. академика А. Г. Шипунова»

Подпись Глаголева Л.В. заверяю

Ученый секретарь НТС



Семашкин Евгений Николаевич

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Чернышова Данила Алексеевича на тему «Исследование процесса деформирования сферических тел со сложной реологией, подверженных воздействию нестационарного температурного поля», представленную к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8 – Механика деформируемого твердого тела

Актуальность работы

Диссертация посвящена аналитическому и численному исследованию термо-напряженного состояния конструктивных элементов сферической формы из материалов со сложными реологическими свойствами.

Развитие математического аппарата для аналитического решения задач термдеформирования упрочняющихся упруговязкопластических сред является актуальной задачей фундаментальной науки и имеет практическую значимость в решении прикладных инженерных задач, связанных с оптимизацией технологических процессов (термообработка, горячее формование) и оценкой ресурса конструкций.

Краткий анализ содержания работы

Диссертация является логически цельным, завершенным научным исследованием, изложена на 122 страницах машинописного текста, содержит 30 рисунков и 5 таблиц и включает в себя введение, три главы, заключение и библиографию (103 наименования).

Во введении приведена актуальность рассматриваемой темы, поставлены цели и задачи исследования, сформулирована научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, положения, выносимые на защиту, а также степень достоверности и апробация полученных результатов.

В первой главе проведен аналитический обзор и даны теоретические основы математических моделей задач деформируемого твердого тела. На базе модели Ивлева–Спорыхина сформулированы определяющие соотношения для упрочняющегося упруговязкопластического материала в общем виде, а затем совершен переход к случаю сферической симметрии. Глава служит строгим фундаментом для последующего анализа.

Вторая глава посвящена решению краевых задач о нагреве сплошного шара. Приведено аналитическое решение квазистационарной задачи теплопроводности с заданной скоростью изменения температуры на поверхности. Получено аналитическое решение задачи термо-вязкоупругопластичности с упрочнением в предположении о сферической симметрии. Проведен анализ сходимости полученных функциональных рядов в аналитическом решении, давая оценку остаточного члена. Рассмотрен обобщенный случай с полиномиальной зависимостью предела текучести от температуры.

В третьей главе с использованием аналогичного подхода решена задача для полого шара, обладающая большей математической сложностью. Особое внимание

уделено эволюции упругопластических границ и развитию зон пластического течения при нагреве внешней поверхности.

Во всех главах аналитические результаты подтверждены независимым численным моделированием методом конечных элементов (МКЭ) в специализированных программных комплексах.

Структура работы соответствует поставленным целям и задачам. Изложение материала строгое, математический аппарат применен корректно.

Научная новизна работы

Научная новизна работы, заявленная автором, полностью подтверждается содержанием диссертации и заключается в следующем:

1. получены аналитические решения задач термдеформирования для сплошного и полого шаров из упрочняющегося упруговязкопластического материала для полиномиальной зависимости предела текучести от температуры.
2. разработан и формализован метод определения не только мгновенного положения упругопластических границ, но и эволюции во времени всей последовательности зон с различными реологическими свойствами (упругое ядро, зоны вязкопластического течения с накоплением упрочнения).
3. для полученных решений строго доказана сходимость используемых функциональных рядов и дана практическая оценка точности вычислений, что переводит решения из разряда формальных в рабочий инструмент для инженерных расчетов.

Теоретическая и практическая значимость

Теоретическая значимость состоит в развитии аналитических методов механики деформируемого твердого тела. Работа вносит вклад в теорию температурных напряжений, расширяя класс сред, для которых удается построить замкнутое аналитическое решение. Результаты работы могут служить эталонными решениями для проверки новых численных алгоритмов и коммерческих САЕ-пакетов.

Практическая значимость является непосредственным следствием теоретических результатов. Полученные зависимости и методики могут быть использованы для:

- уточнения инженерных расчетов на прочность и долговечность сферических элементов конструкций, работающих в условиях нестационарного воздействия;
- оптимизации режимов технологических процессов деталей сферической формы, позволяя прогнозировать остаточные напряжения и деформации;
- создания инженерных расчетных методик, допускающих наличие контролируемых необратимых деформаций.

Достоверность и апробация результатов

Достоверность результатов не вызывает сомнений и обеспечивается использованием общепризнанной модели материала, применением строгого и корректного математического аппарата, проведением успешных предельных

переходов от сложной модели к известным упрощенным случаям, результаты которых согласуются с классическими решениями. Убедительным доказательством является полная качественная и количественная согласованность аналитических решений с результатами численного моделирования методом конечных элементов.

Основные результаты докладывались на 4 научных конференциях. Материалы диссертации опубликованы в 8 научных работах, в том числе в 2 статьях в рецензируемых журналах из перечня ВАК и 2 статьях в изданиях, индексируемых в международных базах данных.

Вопросы и замечания по работе

По работе имеются следующие вопросы:

1. В работе рассматривается сферически-симметричная постановка, что является необходимым допущением для получения аналитического решения. Каковы, на взгляд автора, основные трудности и возможные подходы (хотя бы в постановке задачи) к учету несимметричного температурного воздействия или механической нагрузки? Не приведет ли это к качественно иным эффектам в распределении пластических зон? При решении задачи теплопроводности для полого шара (глава 3) вводится условие теплоизоляции на внутренней поверхности. Однако не обсуждается, как изменится решение при конвективном теплообмене на этой поверхности, что могло бы расширить практическую применимость модели.

2. В практических приложениях важна не только стадия развития деформаций, но и повторное нагружение конструкции после полной разгрузки. Позволяет ли разработанный аналитический аппарат (с учетом наличия в модели вязкого элемента) адекватно описывать процесс разгрузки и возникновение остаточных напряжений?

3. В таблицах 1 и 3 приведены относительные отклонения характерных величин для различных моделей сред. Однако отсутствует комментарий о том, как варьирование параметров вязкости и упрочнения влияет на точность определения этих величин в рамках предложенного аналитического подхода.

4. В разделе 2.3 при верификации аналитического решения методом конечных элементов автор использует комбинацию моделей Шабоша и экспоненциального вязкого упрочнения. В тексте следовало бы более подробно пояснить, как именно были подобраны параметры этих моделей для соответствия принятой в работе модели Ивлева–Спорыхина.

Вопросы и замечания не снижают общего положительного впечатления от диссертационной работы.

Общее заключение официального оппонента по результатам

Диссертация Чернышова Данила Алексеевича представляет собой самостоятельное, законченное научное исследование, в котором получено аналитическое решение актуальной задачи механики деформируемого твердого тела об термомодеформировании сплошного и полого шаров из упрочняющегося упруговязкопластического материала с нелинейной зависимостью предела текучести от температуры. Работа выполнена на высоком научном и методическом уровне с использованием современных аналитических и численных методов.

Автором получены новые научные результаты, имеющие теоретическую и практическую значимость. Все положения, выносимые на защиту, подтверждены в работе. Соответствие диссертации требованиям, установленным в п. 9 Положения «О присуждении учёных степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, не вызывает сомнений.

На основании изложенного, учитывая соответствие работы всем необходимым формальным требованиям, официальный оппонент считает, что диссертация Чернышова Данила Алексеевича заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8 Механика деформируемого твердого тела.

Официальный оппонент

доктор физико-математических наук
(01.02.04 – механика деформируемого твердого тела),
профессор, профессор департамента математики
Института математики и компьютерных технологий
ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный
университет»

Любимова Ольга Николаевна

30.03.2016

690922, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский,
п. Аякс, 10

Телефон: +7 (914) 653-06-59

E-mail: lyubimova.on@dvfu.ru

ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный
университет»

Даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Чернышова Данила Алексеевича, и их дальнейшую обработку.

Подпись *Любимова О.Н.*
удостоверяю. Начальник отдела
научного производства
Любимова О.Н.
20.03.2016 г.

