

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 22 мая 2019 года № _____ 1 _____

О присуждении Галимзяновой Ксении Наилевне, гражданке Российской Федерации, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Ползучесть и пластическое течение материалов в задачах со сферической симметрией» по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела принята к защите 18 марта 2019, протокол № 7, 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.

Диссертация «Ползучесть и пластическое течение материалов в задачах со сферической симметрией» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте автоматизации и процессов управления Дальневосточного отделения Российской академии наук (ФГБУН ИАПУ ДВО РАН). В период подготовки диссертации соискатель, Галимзянова Ксения Наилевна, работала в ФГБУН ИАПУ ДВО РАН, лаборатория механики необратимого деформирования № 51, в должности старшего инженера-программиста.

В 2014 году окончила магистратуру Дальневосточного федерального университета по направлению «Прикладная математика и информатика».

В 2018 году окончила очную аспирантуру по направлению «Математика

и механика» в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Институт автоматики и процессов управления Дальневосточного отделения Российской академии наук».

Научный руководитель – Ковтанюк Лариса Валентиновна, доктор физико-математических наук, профессор РАН, заведующая лабораторией механики необратимого деформирования № 51 Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт автоматики и процессов управления Дальневосточного отделения Российской академии наук.

Официальные оппоненты:

Шутов Алексей Валерьевич, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией ФГБУН Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН, г. Новосибирск

Кривенок Антон Александрович, кандидат технических наук, ведущий инженер научно-производственного бюро филиала АО «Компания «Сухой», КнААЗ им. Ю.А. Гагарина», г. Комсомольск-на-Амуре

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет» в своём положительном заключении, подписанным Коноплевым Ю. Г., доктором физико-математических наук, профессором, заведующим кафедрой теоретической механики и Султановым Л.У., кандидатом физико-математических наук, доцентом кафедры теоретической механики, и утверждённым доктором геолого-минералогических наук, профессором, проректором по научной деятельности ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет» **Нургалиевым Д.К.**, указала, что диссертация Галимзяновой К.Н. соответствует специальности 01.02.04 по следующим пунктам:

Диссертация К. Н. Галимзяновой «Ползучесть и пластическое течение материалов в задачах со сферической симметрией» соответствует требованиям пп. 9–11, 13, 14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» № 842 от 24.09.2013, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени

кандидата наук, а ее автор Галимзянова Ксения Наилевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела.

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу и удовлетворяет требованиям «Положения о порядке присвоения ученых степеней», предъявляемых ВАК РФ к кандидатским диссертациям, а ее автор Галимзянова Ксения Наилевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 «Механика деформируемого твердого тела».

По теме диссертации опубликовано 14 печатных работ, 3 из которых изданы в ведущих рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК (в том числе 1 статья в издании, входящем в международную систему цитирования Web of Science), 11 в сборниках трудов и материалах конференций регионального, всероссийского и международного уровня.

Наиболее значимые работы:

Публикации в изданиях, входящих в международную систему цитирования Web of Science

1. A. A. Burenin, K. N. Galimzyanova, L. V. Kovtanyuk and G. L. Panchenko. Matching Growth Mechanisms of Irreversible Deformation of a Hollow Sphere under Uniform Compression // ISSN 1028-3358, Doklady Physics, 2018, Vol. 63, No. 10, pp.407-410.

Буренин А.А., Галимзянова К.Н., Ковтанюк Л.В., Панченко Г.Л. О согласовании механизмов роста необратимых деформаций полого шара при всестороннем сжатии // Доклады академии наук. 2018. Т. 482. № 4. С.403-406.

Статьи в журналах, рекомендованных ВАК

2. Галимзянова К.Н., Ковтанюк Л.В., Панченко Г.Л. Ползучесть и пластическое течение материала упругопластического сферического слоя в условиях всестороннего гидростатического сжатия // Вестник ЧГПУ им. И.Я. Яковлева. Серия: Механика предельного состояния. 2017. № 2 (32). С.37-44.

3. Галимзянова К.Н., Ковтанюк Л.В., Панченко Г.Л. О различиях в учёте вязкости при расчётах больших упруговязкопластических деформаций в полом

шаре // Ученые записки КнаГТУ. № II - 1(34). 2018. «Науки о природе и технике», С.35-41.«Scholarly Notes of Komsomolsk-na-Amure State Technical University». Issue II-1(34) 2018 «Engineering and Natural Sciences», p.35-41. DOI 10.17084/2018. II-1(34).4

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

Отзыв на диссертацию **ведущей организации** – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет» имеет основные замечания:

1. Не понятно, из каких соображений тензор дисторсии представляется в виде скалярного произведения двух тензоров, нет пояснений, чему равны компоненты тензоров $Y_{i,k}$ и e_{kj} (формула (1.3)).

2. Не даются пояснения к параметрам, фигурирующим в формулах (1.31) и (1.32), например, σ_1 , σ_2 , σ_3 , параметр ξ .

3. В условии пластичности (2.20) разность напряжений радиальных и окружных следует записывать в абсолютных величинах, то есть рассматривать разность по модулю.

4. Не очевидно, что вектор перемещений u , определенный соотношением (4.2), стремится к нулю при $r \rightarrow \infty$. Это следовало бы показать.

5. В последних главах диссертации приведены решения задачи о деформировании сферического слоя с учетом и без учета больших деформаций. Было бы интересно сравнить эти решения и привести результаты сравнений на одних графиках.

6. В диссертации имеются ошибки редакционного характера и опечатки, часто можно наблюдать пропуски пробелов. Например, в соотношении (1.7), третья строчка вместо знака минус должен быть знак плюс.

Отзыв на диссертацию официального оппонента Шутова А.В. имеет основные замечания:

1. В примерах расчётов внутренний радиус сферического слоя в десять раз меньше внешнего. Поэтому r/R пробегает в пределах от 0.1 до 1. Однако на

рисунках 2.1 - 2.14, 3.1 - 3.3, 3.5 - 3.12, 4.1 - 4.5, 4.8 - 4.23 r/R пробегает от 0 до 1. Таким образом, ось абсцисс на указанных рисунках подписана неверно.

2. Результаты на рисунке 2.1 противоречат требованию несжимаемости неупругих деформаций, которое гласит $p_{rr} = -2 p_{\phi\phi}$. Так, на внутренней поверхности p_{rr} стремится к 0,3, а $p_{\phi\phi}$ стремится к -0,1.

3. Из уравнений равновесия (2.6) следует, что σ_{rr} имеет экстремум в той точке пространства, где $\sigma_{rr} = \sigma_{\phi\phi}$. Но это условие не выполняется на рисунках 2.13 и 2.14 (сплошные линии). А именно σ_{rr} не равно $\sigma_{\phi\phi}$ в точке экстремума, так как в этой точке $\sigma_{rr} < 0,008 \mu$ и $\sigma_{\phi\phi} > 0,008 \mu$.

4. На рисунке 4.23 пунктирная линия задаёт распределение $\sigma_{\phi\phi}/\mu$ в конце процесса релаксации после полного снятия нагрузки со сферического слоя. Так как на тело не действуют внешние силы, остаточные напряжения должны быть уравновешены: области положительных $\sigma_{\phi\phi}$ должны уравновешиваться областями отрицательных $\sigma_{\phi\phi}$. Однако подавляющая часть графика функции $\sigma_{\phi\phi}/\mu$ находится в верхней полуплоскости. Таким образом, интегральное условие равновесия не выполняется.

5. На рис. 2.9 представлены остаточные необратимые (неупругие) деформации. Эти деформации превышают 25%, но соответствующая глава посвящена расчётам в рамках теории малых деформаций. Если теория малых деформаций даёт результат с деформациями больше 5%÷10%, то результаты соответствующего расчёта должны быть критически переосмыслены.

6. В главе 3 рассматриваются две сетки по пространственной переменной. Одна сетка – для области пластичности, а вторая – для области ползучести (вязкоупругости). В силу того, что области изменяют свои размеры, узлы указанных сеток не привязаны к материальным частицам. Другими словами, сетки не лагранжевы. В этой связи возникает вопрос, как проводилось интегрирование уравнения (2.13)? Дискретным аналогом уравнения (2.13) является (2.36), которое применяется для перехода с j -го на $j+1$ -й временной слой. В этом уравнении фигурирует новая неизвестная величина $p_{rr}(i, h_1^{j+1} + m^{j+1}, t^j)$ взятая с j -го (предыдущего) слоя. Откуда берётся эта величина непонятно, так как в соответствующей пространственной точке $r = i h_1^{j+1} + m^{j+1}$ на j -

м временном слое узлов сетки нет. Если применяется интерполяция либо экстраполяция значений p_{rr} с узлов предыдущей сетки на узлы актуальной сетки, то соответствующая процедура должна быть описана и обсуждена.

Замечания второстепенного характера:

7. В случае малых упругих деформаций, формула (4.7) содержит слагаемые вплоть до 6-го порядка малости. Не понятно, чем продиктована необходимость удерживать слагаемые вплоть до 6-го порядка малости.

8. На рисунке 2.13 кривая для σ_{rr} (сплошная линия) выходит за пределы расчётной области. Таким образом, получено решение вне сферического слоя для несуществующих точек $r > R$.

9. На рисунке 3.11 σ - неоднозначная функция радиуса r . А именно: и сплошная и пунктирная линии описывают дугу окружности около точки $r=0$.

10. Большинство применяемых на практике металлических материалов обладают способностью к упрочнению даже при малых пластических деформациях. В частности, поле остаточных напряжений существенно зависит от эффекта Баушингера (Bauschinger). Пренебрежение этим эффектом приводит к неточным результатам, включая неправильное описание процесса повторной пластификации.

11. Большинство применяемых на практике металлических материалов имеют режим неустановившейся ползучести, однако условие ползучести Нортона (Norton) пригодно только для описания установившегося режима. Таким образом, применяемый в диссертации закон ползучести может служить лишь грубым приближением.

12. Список используемых обозначений мог бы существенно упростить чтение диссертации, но такого списка в работе нет.

13. Во второй главе в численных расчётах не указаны параметры мелкости разбиения N_1, N_2, N_3 .

Отзыв на диссертацию официального оппонента Кривенка А.А. имеет основные замечания:

1. В качестве замечаний к работе следует отметить, что для расчета деформаций ползучести, был выбран степенной закон ползучести Нортона,

который описывает установившуюся ползучесть, что ни всегда подходит для режимов технологической ползучести. Для технологической ползучести важную роль в накоплении необратимых деформаций играет начальный этап неустановившейся ползучести. В связи с этим основной рекомендацией диссертанту является продолжение работ в направлении расширения класса задач и законов деформирования материала.

2. В диссертации не представлена информация по определению параметров материала использованного для демонстрации результатов решения задач.

3. Не приведено сравнение результатов решения задач, по разработанной методике, с натурными экспериментами или результатами численного моделирования в известных CAE системах использующих аддитивное разбиение полных деформаций.

4. На графиках по осям σ/R не обозначены границы деформации, что затрудняет анализ результатов расчета.

5. В диссертации имеются несущественные опечатки на стр. 49, 66, 73.

Отзыв на автореферат Сенашова Сергея Ивановича, доктора физико-математических наук, профессора, заведующего кафедрой Сибирского государственного университета науки и технологии имени М.Ф. Решетнева имеет замечания:

1. Автором разработаны программы расчета напряжённо-деформированного состояния для решения упруговязкопластических задач. К сожалению, эти программы не имеют государственной регистрации. Регистрация позволила бы пользоваться этими программами другими специалистам изучающих влияние пластических деформаций и деформаций ползучести на напряженное состояние.

2. В автореферате имеются опечатки.

Отзыв на автореферат Рогового Анатолия Алексеевича, заслуженного деятеля науки РФ, доктора физико-математических наук, профессора, главного научного сотрудника Института механики сплошных сред Уральского отделения РАН имеет замечания:

1. Величины ε_{ij} и γ_{ij} (стр. 7 автореферата) автор, являясь представителем Дальневосточной школы механиков, называет скоростями деформаций. Хотя это и широко распространенное название, оно не отвечает своему содержанию, как отмечал еще А.И. Лурье в своей монографии «Нелинейная теория упругости», М.: Наука, 1980. Механика деформируемого твердого тела оперирует с тензорами деформаций Коши-Грина или Альманзи, или Фингера, в которых соответствующий оператор деформации действует на вектор перемещения и результат этого действия должен буквально называться деформацией перемещения. Производная по времени от тензора деформации должна называться и называется скоростью деформации. Под ε_{ij} и γ_{ij} подразумеваются величины, отличные от производных по времени тензоров деформаций. В частности, под ε_{ij} понимается действие на вектор скорости \mathbf{v} линейного оператора деформации $\boldsymbol{\varepsilon}(\bullet) = [\nabla(\bullet) + (\nabla(\bullet))^T]/2$, где ∇ - оператор Гамильтона относительно текущей конфигурации, и результат этого действия должен правильно называться тензором деформации скорости. Именно это название и использует в своих работах А.И. Лурье, в частности на стр. 39 вышеназванной монографии.

2. У материала существуют два предела текучести: на растяжение и на сдвиг. Следует указать, какой из них используется в соотношениях (7) и (8).

3. Полагаю, что в соотношениях (9) недостает следующих граничных условий: $\sigma_{r\varphi}|_{r=R} = \sigma_{r\theta}|_{r=R} = \sigma_{r\varphi}|_{r=r_0} = \sigma_{r\theta}|_{r=r_0} = 0$.

4. В соотношениях (28) неплохо бы указать значения начальных радиусов поры s_0 и поверхности приложения давления R . Любопытно также, по какому закону изменялось давление $P(t)$ и как понимать функцию Φ в (31).

Отзыв на автореферат Пенькова Виктора Борисовича, доктора физико-математических наук, профессора кафедры общей механики и **Иванычева Дмитрия Алексеевича**, кандидата физико-математических наук, доцента кафедры общей механики содержит вопросы:

1. Учитываются ли в работе термомеханические явления, возникающие в процессе деформирования?
2. Проводилось ли сравнение результатов с известными решениями в этой области?
3. Деформируемая среда имеет достаточно сложную физическую природу и соответствующее описание. По-видимому, именно это заставляет диссертанта проводить конкретные исследования для одномерной задачи (центральная симметрия), что естественно и правильно. Какие трудности возникнут у автора при попытке решения задач для объектов большей математической размерности?

Отзыв на автореферат Багмутова Вячеслава Петровича, доктора технических наук, профессора, академика Академии инженерных наук РФ, Заслуженного работника высшей школы РФ, профессора кафедры сопротивления материалов и **Захарова Игоря Николаевича**, доктора технических наук, доцента, заведующего кафедрой сопротивления материалов федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Волгоградский государственный технический университет» содержит следующие замечания:

1. В работе принята гипотеза о независимости свободной энергии от необратимых деформаций. Насколько обосновано пренебрежение влиянием упрочнения?
2. В формулах (6) и (7) вводится смещение поверхности текучести, при этом тензор скорости необратимых деформаций α_{ij} ортогонален σ_{ij} . Применимы ли данные соотношения при сложном нагружении?

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.

Отзыв на автореферат Чигарева Анатолия Власовича, доктора физико-математических наук, профессора кафедры интеллектуальных и мехатронных

систем Белорусского национального технического университета не содержит замечаний.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработан новый подход к постановке и решению задач в рамках математической модели деформаций материалов с упругими, пластическими и вязкими свойствами при последовательном накоплении необратимых деформаций ползучести и пластичности;

предложен способ согласования гладких потенциалов ползучести и пластичности на движущейся упругопластической границе в задачах со сферической симметрией;

предложены новые решения краевых задач теории необратимого деформирования материалов в условиях переменного механического воздействия;

доказана эффективность применения используемого подхода для решения задач о деформировании материалов со сложными реологическими свойствами в условиях ползучести и пластического течения при переменном интенсивном механическом воздействии;

новые понятия не вводились.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана единственно возможная постановочная часть задачи со сменой механизмов производства необратимых деформаций на упругопластической границе с вязкого (ползучесть) на пластический и наоборот без разделения таких деформаций на пластические и деформации ползучести;

на примере одномерной задаче о сдавливании сферического слоя изложены обобщения потенциала ползучести и пластического потенциала (аналог условия пластического течения Мизеса), обеспечивающих непрерывность в росте и затухании необратимых деформаций на упругопластических границах;

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использован метод

конечных разностей для определения напряженно-деформированных состояний материалов в осесимметричных задачах механики;

изучены условия возникновения и закономерности развития областей вязкопластического течения, условия зарождения и закономерности продвижения упругопластических границ в деформируемой среде при активном нагружении и разгрузке, релаксация напряжений в условиях полной разгрузки;

раскрыты преимущества предложенного подхода в теории больших деформаций при учете вязкости на стадии, предвещающей пластическое течение и при разгрузке;

проведена модернизация существующих численных алгоритмов для определения напряженно-деформированного состояния в задачах со сферической симметрией.

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

разработаны общетеоретические подходы к возможности математического моделирования операции холодной формовки изделий в условиях больших деформаций при возникновении локальных областей пластического течения;

определены пределы и перспективы практического использования рассмотренных постановочных аспектов краевых задач в процессах обработки металлов давлением, расчетов напряжений в окрестности пор;

созданы методики расчетов напряженно-деформированного состояния в областях ползучести и вязкопластического течения;

представлены предложения по использованию разработанных подходов для тестирования алгоритмов и программ расчетов задач с более сложной геометрией;

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

теория построена с использованием классических подходов механики сплошных сред и неравновесной термодинамики;

идея базируется на обобщении классических результатов определения

напряженно-деформированного состояния материалов со сложными реологическими свойствами;

полученные решения краевых задач в рамках подхода о последовательном накоплении деформаций ползучести и пластических деформаций построены впервые;

для расчетов использованы классические численные методы;

экспериментальных исследований не проводилось.

Личный вклад соискателя состоит в получении соотношений модели, задающих сферически симметричное деформирование материала с упругими, вязкими и пластическими свойствами; постановке краевых задач, в выполнении всех необходимых вычислений; в подготовке публикаций и докладов на конференциях по теме работы.

Заключение:

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу и отвечает требованиям, установленным пунктом 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.13 г. предъявляемым к кандидатским диссертациям.

На заседании 22.05.2019 г. диссертационный совет Д 212.092.07 принял решение присудить Галимзяновой Ксении Наилевне ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела за постановки и решения краевых задач со сферической симметрией в рамках нового подхода, когда при механическом воздействии необратимые деформации накапливаются в условиях ползучести и пластического течения, последующей разгрузки с учетом сформированных остаточных напряжений и изучением их релаксации после полной разгрузки.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 21 человека, из них 8 докторов наук по профилю рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 30 человек, входящих в состав

совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали:
за 21, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель
диссертационного совета

Учёный секретарь
диссертационного совета

22 мая 2019 года



Дмитриев Эдуард Анатольевич

Григорьева Анна Леонидовна