

## **ОТЗЫВ**

**официального оппонента на диссертацию Галимзяновой Ксении Наилевны «Ползучесть и пластическое течение материалов в задачах со сферической симметрией», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела**

### **1. Актуальность работы**

В промышленных технологиях обработки материала давлением одной из важных задач является оптимизации режимов деформирования деталей с целью повышения геометрической точности и сохранения ресурса материала. При выполнении операций формовки в материале появляются и развиваются зоны пластического течения. Одной из задач, решаемых при оптимизации технологии формования, является поиск режимов деформирования, позволяющих минимизировать размеры пластических областей.

Важной частью совершенствования промышленных технологий, в области обработки материалов давлением, является развитие математических методов. Поэтому важными являются первые постановки и первые решения модельных задач теории, специально строящейся для математического описания сложной технологической операции. Диссертация посвящена данной фундаментальной проблеме, что несомненно актуально как для еще строящейся теории, так и для технологической практики.

### **2. Общая характеристика диссертационной работы**

Работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка использованных литературных источников (193 наименования).

Во введении, на основе проведенного литературного обзора, включающего описание различных моделей и методов решения задач с упругими, пластическими и вязкими свойствами, указываются цели и задачи исследования, формулируются научная новизна, практическая значимость и достоверность результатов.

В первой главе представлены соотношения модели больших деформаций материалов с упругими, пластическими и вязкими свойствами, используемые в дальнейшем при решении краевых задач. Считается, что накапливаемые материалом необратимые деформации не разделяются на деформации ползучести и пластические деформации, а различаются только механизмом их производства. Непрерывность в таком росте необратимых деформаций обеспечивается соответствующим заданием потенциалов ползучести и пластичности. В рассмотренных далее задачах о сжатии сферического слоя внешним всесторонним давлением вязкие свойства материала задаются с помощью степенного закона ползучести Нортона, а пластические – пластическим потенциалом в форме условия пластичности Мизеса.

Во второй главе решается задача о деформировании сферического слоя всесторонним давлением, приложенным к его внешней границе. Задача рассматривается в рамках теории малых упругопластических деформаций. В условиях возрастающего внешнего давления материалом вначале накапливаются необратимые деформации ползучести, а затем с выходом напряженного состояния на поверхность нагружения от внутренней сферической поверхности развивается область пластического течения. Исследовано деформирование материала в условиях постоянного давления и разгрузка среды при уменьшающемся до нуля давлении. Отмечен эффект повторного пластического течения, когда при разгрузке напряженное состояние на внутренней поверхности снова выходит на поверхность нагружения (с обратным знаком). Указаны закономерности продвижения упругопластической границы при нагрузке и границы повторного пластического течения. Рассчитаны деформации, перемещения, напряжения, включая остаточные. Исследована релаксация напряжений после полной разгрузки.

В третьей главе задача, аналогичная рассмотренной во второй главе, решается для случая, когда учитывается вязкое сопротивление течению. Исследовано деформирование материала сферического слоя при возрастающем, постоянном и уменьшающемся до нуля давлении. Показано, что в отличие от случая упругопластической среды, вязкопластическое течение продолжается и при постоянном давлении, а при его уменьшении повторного пластического течения не возникает. Найдена закономерность продвижения упругопластической границы при нагрузке, исследовано уменьшение вязкопластической области при разгрузке среды. Рассчитаны обратимые и необратимые деформации, перемещения и напряжения.

В четвертой главе автор отказывается от гипотезы малости деформаций. Решение строится для несжимаемого сферического слоя в условиях приобретения им больших деформаций (как обратимых, так и необратимых). Как и в третьей главе, вязкость учитывается как на стадии, предвещающей течение, так и при пластическом течении. В случаях возрастающего, постоянного и уменьшающегося давления рассчитаны деформации, перемещения и напряжения. Указаны закономерности продвижения упругопластической границы и граничных поверхностей слоя. Исследована релаксация напряжений после полной разгрузки.

### **3. Достоверность и степень обоснованности научных результатов**

Достоверность полученных результатов основана на корректном использовании классических подходов неравновесной термодинамики и механики сплошных сред к постановкам и решению краевых задач, апробированных численных методов.

#### **4. Оценка научной новизны**

Решения краевых задач, рассмотренных в диссертации, получены в рамках нового подхода к учету накопления необратимых деформаций. Рассматриваемые деформациями являются и деформациями ползучести, и пластического течения. Предложенный подход проиллюстрирован решениями новых краевых задач о нагрузке сферического слоя в условиях последовательного накопления деформаций ползучести и пластичности и его разгрузке, когда механизм производства необратимых деформаций, наоборот, меняется с быстрого пластического на медленный вязкий. Разработаны необходимые алгоритмы расчетов в указанных случаях.

#### **5. Практическая и теоретическая значимость работы**

Теоретическое значение результатов диссертации определяется их новизной для фундаментальной механики деформирования. Предложен одновременный учет деформаций ползучести и пластического течения для материалов со сложными реологическими свойствами.

Предложенный подход и решенные в его рамках краевые задачи продемонстрировали возможность расчета релаксации напряженного состояния при постоянных и убывающих нагрузках, и при полной (или частичной) разгрузке. В технологиях формовки решение таких задач позволяет оценить упругое последствие формуемого элемента конструкции.

#### **6. Оценка изложения материалов диссертации и автореферата**

Диссертация написана грамотно и понятно, достаточно хорошо оформлена. Автореферат отражает содержание диссертации.

#### **7. Замечания по диссертации**

- 1) В качестве замечаний к работе следует отметить, что для расчета деформаций ползучести, был выбран степенной закон ползучести Нортона, который описывает установившуюся ползучесть, что не 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 САЕ системах использующих аддитивное разбиение полных деформаций.
- 4) На графиках по осям  $r/R$  не обозначены границы деформации, что затрудняет анализ результатов расчета.
- 5) В диссертации имеются несущественные опечатки на стр. 49, 66, 73.

## 8. Заключение

Диссертация Галимзяновой К.Н. является законченной научно-исследовательской работой, в которой решены новые краевые задачи, предложены методы и алгоритмы расчетов задач механики деформирования материалов с упругими, пластическими и вязкими свойствами. Считаю, что диссертация Галимзяновой К.Н. «Ползучесть и пластическое течение материалов в задачах со сферической симметрией» соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения учёных степеней», утвержденного Правительством Российской Федерации от 24 сентября 2013 года, и иным требованиям ВАК. Автор диссертации Галимзянова К.Н. достойна присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела.

Официальный оппонент,  
Кандидат технических наук по специальности  
05.07.02 – Проектирование, конструкция и  
производство летательных аппаратов,  
Ведущий инженер научно-производственного бюро  
управления технического развития филиала ПАО  
«Компания «Сухой», «КнААЗ им. Ю.А. Гагарина»,  
681018, г. Комсомольск-на-Амуре, ул. Советская, 1 / /  
Тел.: +7(4217) 52-62-00, 22-85-25  
Факс: +7(4217) 52-64-51, 22-98-51  
e-mail: [info@knaaz.org](mailto:info@knaaz.org)

Кривенок Антон  
Александрович

 Подпись Кривенка А.А. заверяю  
Начальник отдела кадров

М.В. Демченко