

ОТЗЫВ

официального оппонента Киселева Сергея Петровича на диссертацию **Воронина Михаила Сергеевича** «Моделирование вязко-упругого поведения полимеров в рамках подхода Максвелла-Годунова», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела.

Актуальность темы диссертации

Уникальные свойства полимеров и композитов на их основе позволяют их использовать в различных областях, как в промышленности, так и в научных исследованиях. Спектр их применения очень широкий: оборонная, автомобильная, космическая промышленность. В этих областях полимеры подвергаются высоким динамическим нагрузкам часто в экстремальных условиях по давлению и температуре, поэтому необходимым является представление об отклике полимеров на такие воздействия. Развитие вычислительной техники и возможности компьютерного моделирования позволяют проектировать реальные конструкции и прогнозировать их поведение в условиях внешнего воздействия различного вида. Математическое моделирование резко сокращает время их проектирования и экономит ресурсы, необходимые для проведения натурных экспериментов, поэтому построение моделей, описывающих поведение полимеров в условиях динамического нагружения безусловно являются актуальной задачей.

Структура и содержание работы

Диссертация состоит из введения, четырёх глав и заключения. Полный объём диссертации составляет 146 страниц, включая 108 рисунков и 27 таблиц. Список литературы содержит 154 наименования.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулирована цель диссертационной работы, состоящая в построении определяющих соотношений модели вязко-упругого тела максвелловского типа и последующее её применение к описанию деформирования ряда полимеров; сформулированы научная новизна и практическая значимость работы, приведено краткое содержание работы по главам. Сделан обзор развития модели вязко-упругого тела максвелловского типа. Представлен перечень российских и международных конференций, на которых докладывались результаты диссертации, отмечен личный вклад автора.

В первой главе рассматриваются особенности строения полимеров и их влияние на механическое поведение полимеров. Сделан обзор имеющихся моделей деформирования полимеров, главным образом эластомеров. Приведены основные понятия и уравнения модели вязко-упругого тела максвелловского типа.

Во **второй главе** описаны этапы построения уравнения состояния полимерных сред, использованного в работе. Более детально описано построение теплового слагаемого на основании имеющихся в литературе моделей теплоёмкости полимеров. Дополнительно рассмотрены уравнения состояния полимеров, построенные другими авторами, в том числе широкодиапазонные уравнения состояния.

В **третьей главе** сначала формулируются функции времени релаксации касательных напряжений в случае полимеров, после чего описываются методы определения параметров этих функций. Описано как можно упростить метод решения задачи о деформировании тонкого стержня, благодаря чему ускорить расчёт параметров функции времени релаксации, ответственных за описание предела упругости материала.

В **четвертой главе** приводятся результаты применения построенной модели к решению одномерных задач ударно-волнового деформирования полимеров. Сравнение с соответствующими экспериментальными данными подтверждает адекватность построенной модели.

В **заключении** выписаны основные выводы по результатам диссертационной работы.

Научная новизна, обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации:

1. Построены уравнения состояния полимеров, которые имеют более простую формулировку, чем широко-диапазонные уравнения состояния, при этом описывают имеющиеся экспериментальные данные с хорошей точностью;
2. Построены функции времени релаксации касательных напряжений с учётом того, что в полимерах существует спектр возможным механизмов релаксации;
3. Предложен новый упрощённый метод определения параметров, через которые выражается время релаксации касательных напряжений.

Значимость результатов для науки и производства

Разработанные уравнения состояния можно использовать в математических моделях, описывающих отклик полимеров на динамическую нагрузку.

Модель вязко-упругого тела максвелловского типа для полимеров, разработанная в диссертации, может быть использована для расчётов в стандартных пакетах.

Недостатки в диссертации и автореферате

По материалам диссертационной работы имеется ряд замечаний:

1. На стр. 46 в уравнение состояния полимеров добавлено слагаемое, учитывающее тепловое движение электронов. Зависимость свободной энергии электронного газа от температуры (2.24) выбрана такой же, как и для колебательных мод полимера (2.21). Отметим, что такой выбор свободной энергии

для электронного газа является неудачным. Известно, что колебаниям атомов соответствует газ фононов, который подчиняется статистике Бозе – Эйнштейна. Эта статистика приводит к зависимости свободной энергии колебаний от температуры в виде (2.21). Электронный газ подчиняется статистике Ферми – Дирака, поэтому свободная энергия имеет другую зависимость от температуры, отличную от (2.24). Свободная энергия электронного газа в основном зависит от плотности электронного газа. Квадратичная функция от температуры входит в виде малой поправки к зависимости свободной энергии от плотности электронного газа (см. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Статистическая физика Ч.1. 1976, с. 192).

2. В диссертации при записи уравнения состояния, свободная энергия разбивается на 4 слагаемых – холодную, тепловую, электронную и девиаторную составляющие. При таком разбиении девиаторная составляющая должна зависеть только от второго инварианта тензора деформаций. Однако в диссертации девиаторная составляющая свободной энергии зависит не только от второго инварианта тензора деформаций, но и от первого инварианта деформации и скорости деформации (см. (2.35)).

Сделанные замечания не снижают ценности полученных в данной диссертации результатов, которые могут быть использованы при численном моделировании ударно – волновых процессов в полимерах.

Соответствие содержания диссертации указанной специальности

Диссертационная работа Воронина М.С. соответствует специальности 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела, а по своей направленности и методам исследования может быть отнесена к физико-математическим наукам.

Соответствие автореферата содержанию диссертации

Автореферат диссертации полностью соответствует содержанию диссертационной работы и отражает её основные результаты, положения и выводы.

Заключение о соответствии работы требованиям ВАК

Диссертация «Моделирование вязко-упругого поведения полимеров в рамках подхода Максвелла-Годунова» является законченной научно-квалификационной работой, направленной на решение актуальной проблемы механики деформируемого твёрдого тела, соответствует требованиям пп. 9, 10 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (постановление Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842) в части, касающейся ученой степени кандидата наук, а ее автор, **Воронин Михаил Сергеевич**, достоин присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела.

Я, Киселев Сергей Петрович, согласен на включение моих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Воронина М.С.

Официальный оппонент

Ведущий научный сотрудник лаборатории № 6 «Физика многофазных сред»
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича
Сибирского отделения Российской академии наук
Профессор кафедры Аэрогидродинамики НГТУ, доктор физико-математических
наук Киселев Сергей Петрович

Дата 29 ЯНВ 2018

С.П. Киселев

Почтовый адрес, телефон, адрес электронной почты:

630090, г. Новосибирск, ул. Институтская 4/1, тел. (383) 330-73-46,
email: kiselev@itam.nsc.ru

Подпись Киселева С.П. заверяю:
Ученый секретарь ИТПМ СО РАН
к.ф.-м.н.



Ю.В. Кратова