



«УТВЕРЖДАЮ»

Директор ФИЦ КНЦ СО РАН
д. ф.-м.н., профессор

Н.В. Волков

«07» февраля 2018 г.

О Т З Ы В

ведущей организации, Института вычислительного моделирования СО РАН – обособленного подразделения Федерального бюджетного государственного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», о диссертационной работе Михаила Сергеевича Воронина «Моделирование вязко-упругого поведения полимеров в рамках подхода Максвелла – Годунова», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела

Диссертационная работа М.С. Воронина посвящена построению определяющих соотношений для расчета деформирования полимерных материалов в широком диапазоне давлений и температур с учетом эффектов облучения ионизированным излучением. Актуальность выбранной темы связана в первую очередь с тем, что полимеры, благодаря своим уникальным свойствам, находят широкое применение в современных технологиях производства конструктивных элементов для изделий гражданской и оборонной техники, в том числе, судостроения, авиастроения и автомобилестроения, ракетной и ядерной промышленности. На стадии проектно-конструкторской разработки часто требуется по возможности наиболее точное описание поведения таких материалов в условиях динамического нагружения.

Научная новизна диссертации заключается в том, что в ней впервые реализован подход, позволяющий существенно упростить широко-диапазонные определяющие соотношения полимеров без потери точности описания с перспективой разработки эффективных методов расчета деформирования и разрушения элементов конструкций из полимерных материалов в двумерной и пространственной постановках на основе упрощенных уравнений. Практическая значимость работы состоит в том, что развитые в ней методы могут быть внедрены в коммерческие пакеты прикладных программ для инженерных расчетов. Полученные результаты применимы в учебном процессе в университетах при подготовке специалистов по прикладной математике и механике.

Результаты диссертации могут быть использованы в Институте машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, Институте проблем механики РАН, Институте механики сплошных сред УРО РАН, АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева», РФЯЦ–ВНИИЭФ (г. Саров), РФЯЦ–ВНИИТФ (г. Снежинск) и других научно-исследовательских и проектно-конструкторских организациях, основные научные направления которых связаны с анализом напряженно-деформированного состояния элементов конструкций из полимерных материалов.

Анализ содержания работы.

Первая глава содержит обзор литературных источников. В ней представлен широкий спектр работ по физико-химическому анализу микроструктурных механизмов деформации полимеров. Описаны результаты экспериментов по одноосному растяжению образцов, учитывающие температурные факторы и влияние скорости нагружения. Приведены экспериментальные зависимости модуля упругости и скорости звука от температуры, показывающие, что полимерные материалы обладают сложным комплексом свойств, который объясняется наличием нескольких механизмов релаксации на разных структурных уровнях. Дан краткий обзор методов математического и численного моделирования динамического деформирования полимеров.

Вторая глава посвящена построению полуэмпирических уравнений состояния полимерных материалов в широком диапазоне давлений и температур. На основе анализа выполненных ранее теоретических исследований выбран общий вид выражения для холодной составляющей термодинамического потенциала и для теплоемкости полимера, в котором учитываются акустические и оптические колебательные моды молекул. Качественный анализ этих выражений позволил упростить их максимально, но без ущерба для количественного описания. Приведено убедительное обоснование такого упрощения путем сравнения расчетных данных с результатами экспериментов для определенного набора полимеров. Построено широкодиапазонное уравнение состояния, учитывающее зависимость давления от плотности и температуры, получены значения феноменологических параметров уравнения состояния для оргстекла, фторопласта, эпоксидной смолы, резины и полиэтилена.

В третьей главе строятся выражения для времен релаксации касательных напряжений в полимерных материалах. За основу берется формула Больцмана – Аррениуса, в которой зависимость энергии активации от напряженного состояния принимается в форме линейной зависимости от интенсивности касательных напряжений. Кроме температуры и механических факторов учитывается также влияние на время релаксации дозы облучения материала ионизирующим излучением. С помощью разработанных алгоритмов и программ в системе Matlab проведены расчеты параметров, входящих в упрощенные выражения для времен релаксации оргстекла и других видов облученных полимерных материалов.

Четвертая глава посвящена численному решению задачи ударно-волнового деформирования полимеров на основе полученных определяющих уравнений. Используется вариант метода распада разрыва С.К. Годунова с применением линеаризованных уравнений на стадии вычисления «распадных величин». При этом, если расчетное значение времени релаксации в ячейке сетки превосходит шаг дискретизации по времени, то задача о распаде разрыва решается в рамках уравнений линейной неоднородной теории упругости, а если время релаксации меньше шага по времени, то в рамках системы акустического приближения с шаровым тензором напряжений. С помощью развитого вычислительного алгоритма исследован процесс распространения плоской продольной стационарной ударной волны по полимерной матрице. Показано хорошее соответствие полученных результатов с экспериментом. Исследована задача о трансформации импульса при соударении пластин, в которой численные результаты также хорошо описывают имеющиеся экспериментальные данные. Решена задача о затухании ударной волны, догоняемой волной разрежения, и задача об откольном разрушении динамически нагруженной пластины.

По диссертации имеются следующие вопросы и замечания:

1. Эквивалентность определяющих уравнений (1.2) в терминах меры деформации Альманси и уравнений (1.5) для тензора Генки не очевидна, так как имеются необратимые составляющие деформаций. Не исключено, что уравнения (1.5) приводят к независимой модели, не менее обоснованной, чем с уравнениями (1.2). Почему в (1.5) направления главных осей тензоров деформации оказались не зависящими от точки среды, совпадающими с ортами фиксированной координатной системы?
2. Как влияет процедура смены системы уравнений при расчете «распадных величин» в методе С.К. Годунова? Изменятся ли результаты счета, и как изменятся, если использовать решение задачи распада разрыва только в рамках уравнений линеаризованной теории упругости или в рамках уравнений линеаризованной газовой динамики?
3. Имеется небольшое количество опечаток: в уравнениях системы (1.1) дважды опущена плотность, в (1.9) и (2.3) не описаны параметры v и t .

Несмотря на указанные замечания, необходимо отметить, что диссертация представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, выполненную на актуальную тему, в которой получены новые научные результаты, имеющие существенное значение для теоретического описания механических свойств полимерных материалов, соответствующие паспорту специальности 01.02.04 по физико-математическим наукам.

Основные результаты работы достоверны. Они подробно изложены в тексте диссертации и опубликованы в 8 научных работах в ведущих научных рецензируемых журналах, автореферат соответствует ее содержанию.

Диссертационная работа «Моделирование вязко-упругого поведения полимеров в рамках подхода Максвелла – Годунова» соответствует требованиям пп. 9 и 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, М.С. Воронин, достоин присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела.

Директор ИВМ СО РАН,
заведующий отделом вычислительной
механики деформируемых сред
д.ф.-м.н., профессор

В. Садовский

В.М. Садовский

Научный доклад соискателя по материалам диссертации на заседании семинара “Проблемы математического и численного моделирования” Института вычислительного моделирования СО РАН состоялся 23.01.2018 г. (<http://icm.krasn.ru/seminar.php?id=mathmod&year=2018>). Настоящий отзыв заслушан и одобрен на заседании семинара 07.02.2018 г., протокол № 4.

Ученый секретарь ИВМ СО РАН
к.ф.-м.н.

А. Вяткин

А.В. Вяткин

Подписи Владимира Михайловича Садовского и Александра Владимировича Вяткина удостоверяю:

Ученый секретарь ФИЦ КНЦ СО РАН
к.ф.-м.н.

П.Г. Шкуряев

П.Г. Шкуряев

Телефон: +7 (391) 243-96-33

Телефон:

+7 (391) 243-27-56

Почтовый адрес:

660036 Красноярск, Академгородок,
50/44, ИВМ СО РАН

E-mail:

sek@icm.krasn.ru