

«УТВЕРЖДАЮ»

ВРИО ректора
Федерального государственного
автономного образовательного
учреждения высшего образования
Казанский (Приволжский) федеральный
университет, д. ф.-м. н., профессор
Д.А. Гагорский
2022 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Литвинова Степана Викторовича «Моделирование реологических процессов в полимерных и композиционных материалах при термосиловом воздействии», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности: 1.4.7. Высокомолекулярные соединения

1. Актуальность темы исследования

Диссертационная работа С. В. Литвинова посвящена теоретическим исследованиям в области нелинейной механики полимеров неоднородных сред (гетерогенных систем) на примере расчетов кинетики напряженно-деформированного состояния многослойных полимерных цилиндров, подвергаемых силовому и температурному воздействиям. В решении подобных задач нуждаются как теория, так и практика. Знание возможного неупругого поведения и возникающих особенностей поведения основных элементов конструкций из полимерного и композиционного материалов впоследствии может избавить от многих техногенных последствий. Рассмотрение многослойных элементов – это шаг на пути создания оптимальных конструкций по механическим и экономическим критериям.

Для математического моделирования в программных комплексах работы конструкций из полимерных материалов необходимо использовать уравнения состояния, максимально точно описывающие реологические процессы, протекающие в полимере. Подавляющее большинство современных вычислительных программных комплексов используют уравнения связи слишком простого вида: линейные, степенные, логарифмические, соответствующие реальному поведению полимера лишь в очень узком диапазоне. Для полноценного описания этих процессов необходимо прибегать к нелинейным уравнениям.

Таким образом, исследование новых и оптимизация существующих методов расчета конструкций из полимерных материалов на прочность, долговечность, с учетом множества факторов, влияющих на упругие и реологические параметры полимеров (температура, наличие различных

добавок, воздействие ионизирующего излучения, приводящего к деструкции или сшиванию молекул полимера и т. д.) является актуальным.

2. Научная новизна исследования и полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, заключается:

1. Предложена методика определения физико-механических параметров полимера, входящих в нелинейное уравнение Максвелла–Гуревича, на основе кривых релаксации материала как функции от нескольких факторов.

2. Получены матрица жесткости и вектор сил для прямоугольного конечного элемента, учитывающие при помощи непосредственного интегрирования заданной функции формы как температурные составляющие, так и составляющие высокоэластических деформаций с соответствующим спектром времен релаксации.

3. Проведено исследование напряженно-деформированного состояния полимерного тела с комплексным подходом по оптимизации математической модели.

4. Проведен анализ влияния модифицированных упругих и реологических свойств полимера на напряженное состояние соответствующего элемента конструкции в осесимметричной постановке.

5. Проведено численное моделирование напряженного состояния модельного математического объекта по промежуточным значениям полученных физико-механических параметров, как функций нескольких переменных.

6. Проведено исследование напряженно-деформированного состояния полимерного изделия, остывающего при его извлечении из экструдера с учетом градиента температуры во времени.

7. Выполнен расчет на длительную прочность при нормальном отрыве адгезионного соединения путем прямого моделирования двумерными конечными элементами вместо «классического» использования модели пограничного слоя.

3. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и заключений соискателя, сформулированных в диссертации

Достоверность результатов подтверждается строгой математической постановкой задачи, проверкой выполнения всех интегральных и дифференциальных соотношений, граничных условий, применением автором нескольких методов к решению одной задачи, сравнением с известными решениями других авторов. Теоретические результаты получены вполне корректно, и сделанные на основании этого выводы не вызывают возражений.

Необходимо отметить, что многие авторы при решении задач ползучести ограничиваются геометрически линейной теорией, применимой при малых перемещениях. Диссертант С.В. Литвинов приводит сравнение результатов, получаемых по линейной теории, а также с учетом физической нелинейности. Это сравнение показывает, что пренебрежение хотя бы одним

видом нелинейности, как нелинейной составляющей деформации ползучести, приводит к сильно искаженным результатам.

4. Значимость для развития соответствующей отрасли науки полученных автором диссертации результатов

Полученные уравнения на основе метода конечных элементов универсальны и позволяют рассчитывать не только конструкции цилиндрической формы. Универсальность уравнений подтверждает решение в различных главах диссертации модельных задач.

Учет всех видов нелинейности позволяет максимально приблизиться к реальной работе конструкции. Большое значение имеет полученный автором аналитический метод расчета многослойных полимерных труб из полиолефинов. Автором установлены зависимости модуля упругости, модуля высокоэластичности, начальной релаксационной вязкости и модуля скорости от температуры для сетчатых и линейных полимеров, определены релаксационные константы первичного и вторичного полипропилена при комнатной температуре.

Теоретические положения диссертационной работы используются в учебном процессе при подготовке научно-педагогических кадров, в аспирантуре.

В результате теоретического исследования напряженно-деформируемого состояния гомогенных и гетерогенных систем и на основании проведенных исследований в программном комплексе MatLab представлен комплект модулей для определения напряженно-деформированного состояния полимерных тел в осесимметричной постановке.

Проведенные исследования могут быть использованы в промышленности, так как показывают, что изменение температуры адгезионного соединения не существенно сказывается на прочности этого соединения, а существенно сказывается на времени, когда достигаются максимальные напряжения и заканчивается процесс их релаксации.

Практическая значимость выполненной работы заключается в разработке методик расчета, основанных на методе конечных элементов и методе конечных разностей, позволяющих оценивать длительную прочность полимерных цилиндрических труб из полиолефинов с учетом нелинейной зависимости между напряжениями и мгновенными деформациями, и нелинейной ползучести. Результаты работы внедрены в практику в ГК АКСстрой (экономический эффект составил 1200 тыс. руб. в год) и ООО «Научно-исследовательский центр «НИКА»» (экономический эффект составил 2000 тыс. руб. в год).

5. Соответствие работы требованиям, предъявляемым к диссертации Положением о присуждении ученых степеней

Диссертационная работа представляет собой законченное научное исследование, выполненное на актуальную тему и отличающееся новизной полученных результатов, содержит новые научно-обоснованные решения, предназначенные для комплексных исследований перспективных

полимерных материалов, способствующие в совокупности повышению качества прикладных исследований, экспериментальных разработок, испытаний и эксплуатации новых композитов и образцов изделий. Внедрение результатов диссертационного исследования вносит значительный вклад в развитие научного потенциала механики высокомолекулярных соединений страны.

Диссертационная работа написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, и свидетельствует о личном вкладе С. В. Литвинова в науку. Полученные автором диссертации научные результаты нашли практическое применение в Донском государственном техническом университете.

Основные результаты диссертации полностью изложены в публикациях в российских и иностранных журналах. Автором опубликованы 80 научных работ, из них в ведущих рецензируемых изданиях, входящих в перечень ВАК РФ – 39, в журналах, входящих в международные базы цитирования Scopus и Web of Science – 20. Результат исследования были представлены на конференциях и семинарах различного уровня.

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации и полностью его отражают.

6. Рекомендации и пожелания об использовании результатов диссертации

Результаты диссертационной работы могут быть рекомендованы научным учреждениям и организациям, занимающихся исследованиями и испытаниями современных композиционных материалов, а также организациям промышленного комплекса, занимающихся их производством, В частности, в Институте проблем точной механики и управления Российской академии наук, Национальном исследовательском Саратовском государственном университете им. Н.Г. Чернышевского, Национальном исследовательском Нижегородском государственном университете им. Н.И. Лобачевского, Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана, в Казанском (Приволжском) федеральном университете.

7. Общие замечания и недостатки диссертационной работы

Диссертационная работа не лишена недостатков.

1. Насколько термодинамически обоснованной является предложенная в работе модель термовязкоупругости?

2. В задаче определения напряженно–деформированное состояние радиационно-теплого экрана (пункт 4.5.9) предусматривается «воздушное охлаждение прокачкой воздуха в зазорах между корпусом реактора конструкцией тепловой защиты и биологической защитой реактора». В таких задачах бывает сложно определить коэффициент теплоотдачи, а рекомендуемых величины этого параметра обычно лежат в некотором диапазоне. Как влияет погрешность в выборе коэффициент теплоотдачи на результаты решения?

3. В работе, присутствуют некоторые некорректности в формулировках, например, в определении цели работы: «комплексная оптимизация определения напряженно-деформированного состояния гомогенных и гетерогенных систем сетчатых и линейных полимеров, ... , разработке методов, алгоритмов ...», первая часть цели работы слабо связана (как следует из буквального понимания ее формулировки) с задачами работы, первую задачу надо исключить (это не задача, а необходимый этап любой работы), четвертая задача очень сложно сформулирована.

4. Автор ссылается на недостатки современных МКЭ комплексов, на отсутствие законов ползучести, учитывающих обратимые деформации. Неплохо было бы проанализировать, насколько заложенные в комплексах законы отличаются от рассмотренного уравнения связи Максвелла-Гуревича в области необратимых деформаций.

5. Автор мало уделяет внимания исследованию вопросам сходимости решений, полученных различными численными методами.

6. Автор предлагает методику определения физико-механическим параметров при помощи обработки графиков релаксации напряжений в полимере. При этом методика определения физико-механических параметров полимера при помощи кривых ползучести не должна сильно отличаться. Не понятно, почему автор ограничился только одной методикой.

7. Можно ли выделить классы полимеров, описанные в главе 1, для которых предложенная нелинейная модель термовязкоупругости наиболее оптимальна? Или она одинаково хорошо работает для всех полимеров?

8. Чем объяснить немонотонность зависимости модуля скорости вторичного ПВХ, приведенной на рисунке 2.11, от температуры? Почему эта зависимость аппроксимируется линейной, а не квадратичной функцией от температуры?

Приведенные замечания не снижают общую положительную оценку представленной к защите диссертации и не носят принципиального характера.

Заключение

Представленная диссертационная работа соответствует п. 7 и п. 8 паспорта специальности «Высокомолекулярные соединения». Выводы по диссертации позволяют оценить научный уровень как современный и достаточно высокий.

Научная новизна, практическая и техническая реализация, внедрение и использование разработок, теоретическая и практическая ценность результатов диссертационного исследования позволяет утверждать, что представленная диссертационная работа «Моделирование реологических процессов в полимерных и композиционных материалах при термосиловом воздействии» является законченной научно-квалификационной работой и соответствует требованиям пунктов 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, принятого Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842, в редакции Постановления Правительства

Российской Федерации от 10 сентября 2021 г., предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор, Литвинов Степан Викторович, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности: 1.4.7. Высокомолекулярные соединения.

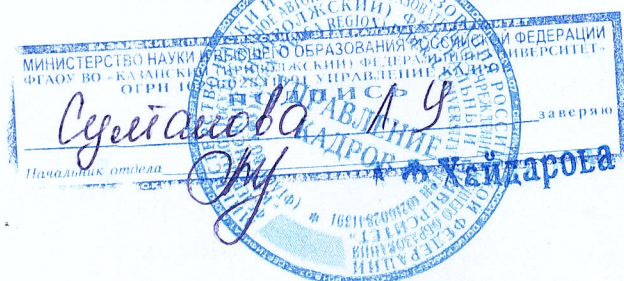
Отзыв на диссертацию и автореферат был обсужден и утвержден на заседании кафедры теоретической механики Института математики и механики им. Н. И. Лобачевского КФУ (протокол №8 от 4 марта 2022 г.).

Заведующий кафедрой теоретической механики КФУ, д. ф.-м. н., доцент

 Л.У. Султанов

Профессор кафедры теоретической механики КФУ, д. ф.-м. н., доцент

Д.В. Бережной



Сведения о лицах, предоставивших отзыв на диссертацию:

Султанов Ленар Усманович, доктор физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела, заведующий кафедрой теоретической механики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет». Рабочий адрес: 420008, Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 35, тел.+7 (843) 2337185, E-mail: Lenar.Sultanov@kpfu.ru.

Бережной Дмитрий Валерьевич, доктор физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела, профессор кафедры теоретической механики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет». Рабочий адрес: 420008, Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 35, тел.+7 (843) 2337185, E-mail: Dmitri.Berezhnoi@kpfu.ru.