

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу  
Лесняк Любови Ивановны  
на тему: «Влияние инерционных сил на остаточные напряжения и реологию полимеров и композитов на их основе»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.4.7. Высокомолекулярные соединения.

### **Актуальность и практическая значимость работы.**

Диссертационная работа Л. И. Лесняк посвящена теоретическим исследованиям в области механики полимеров на примере расчетов напряженно-деформированного состояния цилиндров, подвергаемых силовому (центробежному) и температурному воздействию. Решение подобного рода задач важно, как с теоретической, так и с практической точек зрения. Предсказание неупругого поведения и особенностей деформирования основных элементов конструкций из полимерных и композиционных материалов позволит при проектировании избавить конструкторов от многих нежелательных последствий, связанных с возникновением деформаций ползучести и остаточных напряжений. Исследования поведения неоднородных вследствие температурного поля элементов с учётом объёмных инерционных сил — шаг на пути создания оптимальных конструкций по механическим и экономическим критериям. В этом, прежде всего, состоит **актуальность и практическая значимость** рассматриваемой работы.

**Научная новизна** в рассматриваемой работе прослеживается в двух моментах.

Во-первых, автором предлагается альтернативная методика определения коэффициентов уравнения состояния на основе анализа кривых ползучести полимеров. По данной методике были определены физико-механические параметры всех рассмотренных далее в работе полимеров.

Во-вторых, в работе исследуется реакция нелинейных неоднородных сред на одновременное воздействие силового и температурного поля на элементы конструкций из физически нелинейных при учёте зависимости упругих и неупругих характеристик этих сред от температуры. Инерционные силы при этом

вызваны вращением тела с различной частотой. Подобная постановка задачи потребовала от автора применения и модификации различных численных методов.

Нелинейность уравнений связи в совокупности с зависимостью параметров уравнений от температуры и вида среды, а также протекание процессов во времени ставит с особой остротой проблему устойчивости счёта и получения надежных, в данном случае новых результатов. Автор вполне успешно преодолел указанные трудности и получил, используя продуманные численные алгоритмы, распределение и кинетику напряжений, деформаций и перемещений во вращающихся цилиндрических телах с учетом реальной реологии. Там, где возможно, сравниваются решения, полученные различными численными методами (МКР, МКЭ), что позволяет говорить о достоверности полученных решений.

*Во введении* автор обосновывает актуальность выбранного направления исследований, формулирует цель работы и сообщает основные положения.

*В первой главе* соискателем проведен литературный обзор отечественных и зарубежных работ, посвященных постановке и решению задач по выбранной тематике исследований. Обзор в достаточной мере отражает состояние вопросов, решаемых в рассматриваемой диссертации. Также приведены основные уравнения механики полимеров, используемые в дальнейшем в диссертационной работе.

*Во второй главе* рассматривается альтернативная методика определения физико-механических параметров по кривым ползучести полимера. Приводятся практические задачи определения параметров ряда полимеров как отечественного, так и зарубежного производств.

*Третья глава* основана на получении основных разрешающих уравнений механики полимеров и нахождении их решения. Решение задач приводится двумя различными методами: методом конечных разностей и методом конечных элементов. При этом проводится сопоставление решений, полученных вышеуказанными методами, что позволяет говорить о **достоверности** полученных решений.

В четвёртой главе приводится непосредственное теоретическое определение напряжённо-деформированного состояния цилиндрических тел из полимеров, физико-механические характеристики которых были определены ранее во второй главе. При этом рассматриваются цилиндры, вращающихся вокруг собственной оси с различными частотами и под воздействием нестационарного во времени температурного поля. Автор уделяет особое влияние возникновению остаточных напряжений при различных режимах эксплуатации конструкции.

Если говорить про существование аналогичных исследований вращающихся тел, то они возможны при помощи современных расчётных комплексов. Однако, будучи универсальными комплексами, они не всегда могут быть использованы для решения узкоспециализированных задач. Так, в программных комплексах ANSYS, Abaqus, SolidWorks исследуются только уравнения связи, описывающие необратимые во времени деформации. Особенной чертой полимеров является наличие именно обратимых во времени деформаций, описываемых в работе при помощи нелинейного уравнения связи Максвелла-Гуревича, что недоступно вышеупомянутым расчётным МКЭ комплексам. Резюмирую вышесказанное, не вызывает сомнения **научная новизна работы**.

Тем не менее, необходимо сделать некоторые замечания к работе Л. И. Лесняк:

1. Не совсем понятен выбор исследуемых в работе полимеров, частот вращения и температурных режимов. На мой взгляд, при (или перед) формулированием постановки задачи следовало давать более подробные пояснения, почему выбраны именно такой материал, такие частоты и температурные режимы. По тексту диссертации прослеживается, что он «идет от практики», следовало более подробно остановиться на этом. Это несомненно улучшило бы диссертационную работу.

2. В работе практически не рассмотрен вопрос устойчивости предложенных численных алгоритмов. Автор использует полностью неявные численные схемы (формально абсолютно устойчивые) и тем не менее в отдельных расчетах

наблюдается «вырождение», следовало более подробно остановиться на вопросах устойчивости.

3. При постановке граничных условий для температурной задачи всегда использовались условия постоянства температуры на границы (условия первого рода). Но реальным условиям больше соответствует условия теплообмена с окружающей средой (условия второго рода). Такая постановка связана с чем? На длительных временах (порядка нескольких часов) она допустима или в предложенных численных методах невозможно применять граничные условия второго рода?

4. Краткость, если не сказать скромность, описания и анализа часто впервые полученных результатов. Краткость в описании, выраженная в том, что даже подписи к рисункам предельно кратки, в результате приводит к путанице в нумерации задач. Рисунки следовало подписывать максимально подробно. Анализ результатов тоже желательно проводить более детально, останавливаясь не только на результате как таковом, но и на том, что может наблюдаться конструкторами, и что может быть от них скрыто и может наблюдаться только в численном моделировании.

Следует отметить, что представленные выше замечания являются скорее пожеланиями по улучшению качества работы и никак не снижают ценность и высокий научный уровень представленной диссертации.

Работа соответствует следующим пунктам паспорта специальности «Высокомолекулярные соединения»: п.7. Физические состояния и фазовые переходы в высокомолекулярных соединениях. Реология полимеров и композитов; п.8. Усовершенствование существующих и разработка новых методов изучения строения, физико-химических свойств полимеров в конденсированном состоянии и других свойств, связанных с условиями их эксплуатации.

В целом диссертационная работа Лесняк Любови Ивановны на тему: «Влияние инерционных сил на остаточные напряжения и реологию полимеров и композитов на их основе» является законченной научной работой и соответствует

требованиям пунктов 9-14 Положения о присуждении ученых степеней ВАК РФ (актуальная редакция) к кандидатским диссертациям.

Содержание автореферата достаточной мере отражает содержание диссертации.

Автор продемонстрировал владение различными методами решения нелинейных задач механики полимеров и несомненно заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.4.7. Высокомолекулярные соединения.

Доктор физико-математических наук  
(01.04.17 — Химическая физика, горение  
и взрыв, физика экстремальных состояний  
веществ), заведующий лабораторией  
вычислительной гидродинамики

Валерий  
Гулямович  
Султанов

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем химической физики Российской академии наук. 142432, Московская область, Черноголовка, проспект академика Н.Н. Семенова, 1. Тел.: +7 (49652) 251-64, +7 (49652) 244-75, e-mail: [office@icp.ac.ru](mailto:office@icp.ac.ru); [sultan@icp.ac.ru](mailto:sultan@icp.ac.ru); URL: <https://www.icp.ac.ru>.

Подпись Султанова В.Г. и сведения заверяю  
Ученый секретарь ИПХФ РАН  
д.х.н. Психа Борис Львович  
02 февраля 2022 года

