

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертацию Черпаковой Надежды Анатольевны

«Нелинейное поведение концентрированных растворов полимеров при больших периодических деформациях»,

представленную на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук по специальности

01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы

Актуальность темы диссертации

Диссертация Черпаковой Надежды Анатольевны посвящена математическому моделированию нелинейного поведения концентрированных растворов полимеров при больших периодических деформациях.

В настоящее время полимеры используются практически во всех областях производства. Технологии переработки полимерного сырья постоянно совершенствуются, поэтому интерес к физическим процессам, происходящим на разных этапах производства не только теоретический, но и практический. Свойства полимеров во многом обусловлены не только молекулярной массой, но и химическим составом звеньев, пространственной конфигурацией молекул, степенью разветвленности молекул, типом связей между молекулами, способом производства полимера. Полимерные материалы обладают специфическим комплексом физикохимических и механических свойств которые существенно отличаются от жидкостей и твердых тел, поэтому для описания их течений недостаточно уравнений классической ньютоновской динамики. Вследствие этого возникает необходимость построения реологических определяющих соотношений для описания течений полимерных жидкостей, в технологических процессах.

Актуальность диссертационной работы Н.А. Черпаковой определяется практической значимостью исследований течений реологических сложных жидкостей в режиме больших периодических деформаций необходимостью создания средств математического моделирования для изучения соответствующих течений.

Общая характеристика работы.

Диссертация Черпаковой Надежды Анатольевны изложена на 114 страницах машинописного текста, содержит 41 иллюстрацию, 2 таблицы и состоит из введения, 4 глав, заключения, одного приложения и списка литературы из 96 наименований.

Во введении автор обосновывает актуальность работы, формулирует цель и задачи исследования, обсуждает степень разработанности темы исследования,

приводит результаты, свидетельствующие о научной новизне и практической значимости работы, излагает основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе рассмотрены экспериментальные и теоретические подходы к изучению реологических свойств материалов, описаны наиболее исследованные вискозиметрические течения, представлены некоторые реологические модели вязкоупругих сред, а также проведен анализ их достоинств и недостатков.

Вторая глава посвящена изложению основ механики сплошных сред, в ней приведены уравнения, равновесия, неразрывности и энергии. Также во второй главе обсуждаются принципы построения определяющих соотношений: координатной инвариантности, материальной объективности и детерминизма. В этой главе приводится математическая модель динамики макромолекулы с учетом локальной анизотропии и подвижности структурных элементов молекулярной цепи. Выполнен вывод модифицированной реологической модели Виноградова–Покровского. Показано, что данная модель позволяет качественно описывать реальные течения полимерных материалов.

В третьей главе представлено сравнение расчётов на основе многомодовой модифицированной реологической модели Виноградова-Покровского с экспериментальными данными для стационарных и нестационарных вискозиметрических функций. Также рассматривается кинематика процесса периодических деформаций, когда полимерный образец помещен между двумя плоскими параллельными пластинами, одна из которых покоится, а другая совершает колебания, по гармоническому закону. Установлено, что при различных частотах вязкие свойства материала могут преобладать над упругими и наоборот. Также в главе выполнено сравнение компонент динамического модуля с экспериментальными данными, выяснено влияние на них параметров модели. Обнаружено, что при увеличении амплитуды деформирования значения компонент динамического модуля не могут характеризовать свойства материала.

В четвертой главе описаны основные методы исследования материалов режиме LAOS. Исследовано влияние параметров модели на вид напряжения, при больших периодических деформациях. Результаты расчетов показали что, при деформировании из состояния покоя в полимерной системе достаточно быстро устанавливается периодический режим колебаний. При малой амплитуде возникающие в материале сдвиговые напряжения прямо пропорциональны деформации, то есть представляет собой правильную гармонику. При периодическом деформировании материала с большей амплитудой отклик перестает быть правильной гармоникой. При проведении сравнения полученных результатов с экспериментальными данными сделан вывод, что модель позволяет достаточно точно описать поведение полимерных материалов при больших периодических деформациях.

В **заключении** диссертации сформулированы основные результаты диссертационной работы, сформулированы перспективы дальнейших исследований.

Целью работы является систематическое изучение нелинейного характера поведения концентрированных растворов полимерных материалов в режиме больших сдвиговых периодических деформаций.

Научная новизна результатов диссертационной работы работа Черпаковой Надежды Анатольевны обусловлена получением ряда новых ранее неизвестных результатов. Получены новые результаты, позволяют достаточно точно описать поведение полимерных материалов при больших периодических деформациях. Обнаружено увеличение несимметричности фронтов напряжения при увеличении амплитуды деформирования, а также выявлено появление «ступеньки» на одном из фронтов отклика. Автором установлено существование осцилляций первой и второй разностей нормальных напряжений с удвоенной частотой относительно сдвигового напряжения. В результате проведенных исследований установлена связь формы и размеров фазовых траекторий с параметрами воздействия и параметрами реологической модели.

К **основным научным результатам, полученных лично соискателем**, относятся результаты математического моделирования поведения полимерных материалов при больших периодических деформациях. Обнаружено отклонение отклика материала от правильной гармоник при увеличении амплитуды деформирования в режиме гармонических колебаний. Получены временные зависимости первой и второй разности нормальных напряжений, которые осциллируют с удвоенной частотой относительно сдвигового напряжения. Установлено, что при увеличении амплитуды деформирования значения компонент динамического модуля не могут характеризовать свойства материала.

Практическое значение работы заключается в возможности использования полученных результатов для создания и оптимизации высокоэффективных технологий, связанных с производством и переработкой полимерных материалов.

Работа выполнялась в рамках грантов РФФИ (проект № 12-01-00033 и №18-31-00030).

Теоретическая значимость работы заключается в систематическом изучении нелинейных эффектов в полимерных жидкостях при больших осциллирующих сдвиговых деформациях. Проведенные исследования в нелинейной области позволили более подробно описать характеристики материала, которые используются при переработке полимерных материалов.

Методология и методы исследования включали в себя численные исследования нелинейного поведения материалов в режиме больших периодических сдвиговых деформаций.

При получении реологического определяющего соотношения использовались модельные представления о динамике полимерных цепей с основанные на концепциях «одномолекулярного» приближения, а также «внутренней» вязкости, обусловленной наличием топологических ограничений при движении выбранной макромолекулы.

Объектом изучения являются течения полимерных растворов в вискозиметрах различных конструкций.

Достоверность результатов обеспечивалась использованием физически корректной математической модели, тестированием и верификацией расчётного алгоритма, сравнением полученных результатов с экспериментальными данными других авторов.

Основные положения, рекомендации и выводы, содержащиеся в диссертации, представляются научно обоснованными и достоверными.

Результаты исследований, представленные в рецензируемой диссертации, можно квалифицировать как законченное **решение имеющей важное научно-практическое значение задачи** связанной с исследованием поведения полимерных материалов в режиме больших периодических деформаций.

Диссертация **является научно-квалификационной работой**, в которой на основании выполненных автором исследований сформулирована математическая модель и проведено математическое моделирование нелинейных эффектов в полимерных жидкостях при больших осциллирующих сдвиговых деформациях, разработан программный комплекс, позволяющий смоделировать вискозиметрические течения растворов и расплавов полимеров, выполнено моделирование сдвиговых напряжений в различных режимах деформирования.

Полученные в данной работе результаты открывают несколько направлений дальнейших исследований, связанных с моделированием течения концентрированных растворов полимерных материалов в сложных динамических условиях, анализом неизотермичности потока на реологическое поведение материала, изучением влияния реологических свойств расторителя на параметры течения.

Результаты проведенных исследований можно квалифицировать как решение задачи, имеющей существенное значение для развития механики жидкости, применительно к исследованию поведения концентрированных растворов полимерных материалов в режиме больших сдвиговых периодических деформаций.

Полнота изложения материалов диссертации достаточно высока. По теме диссертационной работы опубликована 21 работа, в том числе 3 статьи в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, 1 статья в электронном сборнике материалов конференции, представленном в издании, входящем в Scopus, 2 статьи в прочих научных журналах (из них 1 статья в зарубежном журнале), 14 публикаций в сборниках материалов международных и всероссийских, в том числе с международным участием, научных конференций, школ-конференций и симпозиума по реологии (из них 1 публикация в сборнике материалов зарубежной конференции, 1 статья в электронном сборнике), получено 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Содержание автореферата **соответствует** основным положениям диссертации.

Следует отметить, что наряду с достоинствами рецензируемая по работе имеются следующие **замечания**:

1. Анализ современных подходов, используемых в реологии полимерных жидкостей, связанных с исследованием течений вязкоупругих сред с применением различных реологических моделей, в частности, модели Виноградова – Покровского следовало бы провести с привлечением большего количества литературных источников.

2. В первых трех параграфах второй главы диссертации излагаются основы механики сплошных сред, излагается вывод уравнений равновесия, неразрывности и энергии. Однако в дальнейшем этот материал автором не используется. Таким образом, наличие данных параграфов в тексте диссертации представляется излишним.

3. При моделировании динамики макромолекулы сила упругости записана с коэффициентом пропорциональным температуре. Диссертанту следовало бы дать объяснение этому факту. Кроме того, варьирование температуры в реологических уравнениях позволило бы исследовать поведение материала в различных температурных диапазонах.

4. В тексте диссертации имеется ряд неточностей. Так, на стр. 19 утверждается, что «Простой сдвиг представляет собой равномерное течение». На стр. 50 автором утверждается: «При ситуации, когда инерция отсутствует ($m=0$)....». Отсутствие силы инерции означает равенство нулю не массы, а ускорения. На стр. 69 скорость пластины названа скоростью деформации, что неверно.

5. Подписи к осям и легенда к кривым на рисунках выполнены настолько мелким шрифтом, что затрудняет анализ приведенных на этих рисунках зависимостей. На рис. 7 приводятся данные экспериментальных исследований, однако ссылка на источник экспериментальных данных отсутствует. В подрисуночных подписях не приводится полный список значений параметров для которых были проведены вычисления.


6. В работе отсутствует определение ряда важных параметров, используемых в данном исследовании. В частности, не дается определение стационарной вязкости.

Несмотря на эти замечания, диссертационная работа Черпаковой Надежды Анатольевны представляет собой завершённое научное исследование, выполненное автором самостоятельно и на достаточно высоком уровне. Методы исследования и полученные автором результаты свидетельствуют о высокой квалификации соискателя.

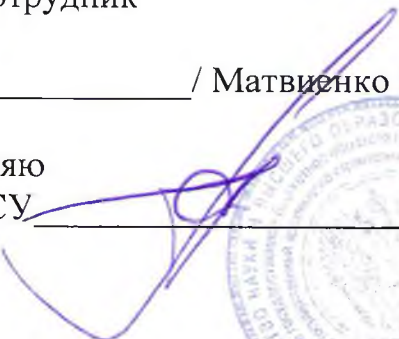
Таким образом, данная диссертация полностью соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 №842 (в ред. от 01.10.2018), а ее автор, Черпакова Надежда Анатольевна заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы.

Официальный оппонент:

Профессор кафедры физики, химии и теоретической механики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Томский государственный архитектурно-строительный университет», доктор физико-математических наук (01.02.05-Механика жидкости, газа и плазмы), старший научный сотрудник

 / Матвиенко Олег Викторович

Подпись О.В. Матвиенко удостоверяю
Проректор по научной работе ТГАСУ


П.А. Елугачев

16 марта 2020 г.

Сведения об организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный архитектурно-строительный университет»

Адрес: 634003, г. Томск, Соляная пл., 2,

Электронная почта: rector@tsuab.ru

Телефон: 8 (3822) 65-36-93, Сайт: <http://www.tsuab.ru>