

## СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационный совет Д 212.267.13, созданный на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», извещает о результатах состоявшейся 26 июня 2020 года публичной защиты диссертации Черпаковой Надежды Анатольевны «Нелинейное поведение концентрированных растворов полимеров при больших периодических деформациях» по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук.

Присутствовали 20 из 26 членов диссертационного совета, из них 5 докторов наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы:

- |  |          |
|--|----------|
| 1. Шрагер Г. Р., доктор физико-математических наук, профессор,<br>председатель диссертационного совета,                      | 01.02.05 |
| 2. Христенко Ю. Ф., доктор технических наук, старший научный сотрудник,<br>заместитель председателя диссертационного совета, | 01.02.04 |
| 3. Пикущак Е. В., кандидат физико-математических наук,<br>ученый секретарь диссертационного совета,                          | 01.02.05 |
| 4. Архипов В. А., доктор физико-математических наук, профессор,  | 01.02.05 |
| 5. Биматов В. И., доктор физико-математических наук, доцент,   | 01.02.05 |
| 6. Бубенчиков А. М., доктор физико-математических наук, профессор,   | 01.04.14 |
| 7. Бутов В. Г., доктор физико-математических наук, профессор,  | 01.04.14 |
| 8. Глазунов А. А., доктор физико-математических наук, профессор,   | 01.02.05 |
| 9. Зелепугин С. А., доктор физико-математических наук,<br>старший научный сотрудник,   | 01.02.04 |
| 10. Крайнов А. Ю., доктор физико-математических наук, профессор,   | 01.04.14 |
| 11. Кульков С. Н., доктор физико-математических наук, профессор,   | 01.02.04 |
| 12. Лапшин О. В., доктор физико-математических наук,   | 01.04.14 |
| 13. Люкшин Б. А., доктор технических наук, профессор,  | 01.02.04 |
| 14. Макаров П. В., доктор физико-математических наук, профессор,   | 01.02.04 |
| 15. Миньков Л. Л., доктор физико-математических наук, профессор,   | 01.04.14 |
| 16. Прокофьев В. Г., доктор физико-математических наук, доцент,  | 01.04.14 |
| 17. Скрипняк В. А., доктор физико-математических наук, профессор,  | 01.02.04 |
| 18. Старченко А. В., доктор физико-математических наук, профессор,   | 01.04.14 |
| 19. Тимченко С. В., доктор физико-математических наук,<br>старший научный сотрудник,   | 01.02.05 |
| 20. Шрагер Э. Р., доктор физико-математических наук, доцент,   | 01.04.14 |

**Заседание провел председатель диссертационного совета доктор физико-математических наук, профессор Шрагер Геннадий Рафаилович.**

По результатам защиты диссертации тайным голосованием (результаты голосования: за присуждение ученой степени – 20, против – нет, недействительных бюллетеней – нет) диссертационный совет принял решение присудить Н. А. Черпаковой ученую степень кандидата физико-математических наук.

**Заключение диссертационного совета Д 212.267.13,  
созданного на базе федерального государственного автономного  
образовательного учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский Томский государственный университет»  
Министерства науки и высшего образования Российской Федерации,  
по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук**

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 26.06.2020 № 432

О присуждении **Черпаковой Надежде Анатольевне**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация **«Нелинейное поведение концентрированных растворов полимеров при больших периодических деформациях»** по специальности **01.02.05** – Механика жидкости, газа и плазмы принята к защите 27.01.2020 (протокол заседания № 412) диссертационным советом Д 212.267.13, созданным на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (634050, г. Томск, пр. Ленина, 36, приказ о создании диссертационного совета № 105/нк от 11.04.2012).

Соискатель **Черпакова Надежда Анатольевна**, 1992 года рождения.

В 2019 соискатель очно окончила федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова» с выдачей диплома об окончании аспирантуры.

Работает в должности старшего преподавателя кафедры информационных технологий в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Алтайский государственный педагогический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре высшей математики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, **Пышноград Григорий Владимирович**, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», кафедра высшей математики, профессор.

Официальные оппоненты:

**Матвиенко Олег Викторович**, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждения высшего образования «Томский государственный архитектурно-строительный университет», кафедра физики, химии и теоретической механики, профессор

**Ткачев Дмитрий Леонидович**, доктор физико-математических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт математики им. С. Л. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук, лаборатория вычислительных проблем задач математической физики, ведущий научный сотрудник дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «**Пермский национальный исследовательский политехнический университет**», г. Пермь, в своем положительном отзыве, подписанном **Труфановой Наталией Михайловной** (доктор физико-математических наук, профессор, кафедра «Конструирование и технологии в электротехнике», заведующий кафедрой), указала, что в настоящее время математическое моделирование является одним инструментов для исследования свойств полимерных материалов в различных режимах деформирования. Вместе с тем экспериментальные методы достигли большого прогресса в измерении и описании сложных вискозиметрических течений, что позволило продолжить развивать теоретические методы описания этих течений. Существенный интерес представляет разработка математических моделей, учитывающих влияние на свойства напряженно-деформированного состояния релаксационных процессов, протекающих на разных масштабных и структурных уровнях. При этом сами процессы часто носят существенно нелинейный характер. В связи с этим представленная диссертация отвечает современным потребностям

механики сплошной среды и является актуальной. Н. А. Черпаковой описаны нелинейные эффекты в концентрированных полимерных растворах в режиме больших осциллирующих сдвиговых деформациях; обнаружено увеличение несимметричности фронтов напряжения при увеличении амплитуды деформирования, а также выявлено появление «ступеньки» на одном из фронтов нелинейного отклика; предложен новый подход к верификация модифицированной реологической модели Виноградова-Покровского именно для случая моделирования течений при больших периодических деформациях; получены результаты численного моделирования формы осцилляций первой и второй разностей нормальных напряжений с удвоенной частотой относительно сдвигового напряжения. Результаты исследования расширяют существующие знания о влиянии реологических характеристик полимерных расплавов на их нелинейные свойства при простом сдвиге и одноосном растяжении. Разработанные модели и подходы могут быть использованы для численного анализа течений растворов и расплавов полимеров в научно-исследовательских организациях Российской академии наук и высших учебных заведениях. Разработанные модели могут применяться для исследования и совершенствования свойств и характеристик полимерных материалов.

Соискатель имеет 21 опубликованную работу, в том числе по теме диссертации опубликована 21 работа, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 3 работы; в электронном сборнике материалов конференции, представленном в издании, входящем в Scopus, опубликована 1 работа; в прочих научных журналах опубликовано 2 работы (в том числе в зарубежном научном журнале опубликована 1 работа); в сборниках материалов международных и всероссийских, в том числе с международным участием, научных конференций, школ-конференций и симпозиума по реологии опубликовано 14 работ (из них в сборнике материалов зарубежной конференции опубликована 1 работа, в электронном сборнике опубликована 1 работа); свидетельство о регистрации программы для ЭВМ получено 1. Общий объем работ – 5,06 а.л., авторский вклад – 1,97 а.л.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

Наиболее значительные работы по теме диссертации, опубликованные 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. Черпакова Н. А. Нелинейные эффекты в реологии текучих полимерных сред и их моделирование / Н. А. Черпакова, Г. В. Пышнограй, Д. А. Мерзликина // *Фундаментальные проблемы современного материаловедения*. – 2016. – Т. 13, № 1. – С. 84–89. – 0,58 / 0,2 а.л.

2. Кузнецов А. Е. Влияние числа Вейсенберга на структуру течений полимерных расплавов в каналах с внезапным сужением / А. Е. Кузнецов, Г. В. Пышнограй, Н. А. Черпакова // *Фундаментальные проблемы современного материаловедения*. – 2017. – Т. 14, № 3. – С. 332–336. – 0,58 / 0,12 а.л.

3. Черпакова Н. А. Моделирование нелинейной вязкоупругости полимерных материалов при их больших периодических деформациях / Н. А. Черпакова, А. Е. Кузнецов, Г. В. Пышнограй // *Фундаментальные проблемы современного материаловедения*. – 2017. – Т. 14, № 3. – С. 376–380. – 0,58 / 0,2 а.л.

На автореферат поступило 6 положительных отзывов. Отзывы представили:

1. **О. Б. Кудряшова**, д-р физ.-мат. наук, доц., старший научный сотрудник лаборатории физики преобразования энергии высокоэнергетических материалов Института проблем химико-энергетических технологий СО РАН, г. Бийск, *с замечанием*: на рисунках в автореферате не указана погрешность измерений при демонстрации проявления стационарных и нестационарных эффектов, полученных по изучаемой модели, хотелось бы увидеть доверительные интервалы.

2. **К.В. Сафонов**, д-р физ.-мат. наук, доц., заведующий кафедрой прикладной математики Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», г. Красноярск, *с замечанием*: на странице 13 автореферата приведены значения параметров реологической модели, которые использовались при расчетах, при этом неясно из каких соображений эти значения выбирались.

3. **М.В. Носков**, д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры прикладной математики и компьютерной безопасности Сибирского федерального университета, г. Красноярск, *с замечанием*: из пояснения феноменологических параметров модели

к и  $\beta$ , приведенного в автореферате, может сложиться впечатление, что эти параметры абсолютно идентичны, только к всегда в 1,2 раза больше, чем  $\beta$ , тогда использование в формуле (1) множителя ( $\kappa\text{-}\beta$ ) теряет смысл.

4. **В. И. Попов**, д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории экологических проблем теплоэнергетики Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, г. Новосибирск, *с замечаниями*: на рисунках 2, 4, 5 и 6 не указаны единицы измерения; текст автореферата содержит небольшое количество пунктуационных ошибок, а также несогласованных предложений; краевые задачи – системы уравнений и краевые условия – для решаемых проблем для модифицированной и многомодной модели Виноградова–Покровского в автореферате не приведены; реологическая модель, применяемая в работе, при выборе подходящих значений параметров модели описывает с удовлетворительной точностью нелинейные эффекты при больших периодических деформациях, но, как известно, для количественного теоретического описания градиентной зависимости сдвиговой вязкости и разностей нормальных напряжений (базовые зависимости!) при деформировании полимеров эти значения параметров модели существенно отличаются от определенных в настоящей работе.

5. **О. И. Скульский**, д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории Вычислительной гидродинамики Института механики сплошных сред УрО РАН, г. Пермь, *с вопросами*: экспериментальные данные, используемые в диссертационной работе для верификации реологической модели, получены на ротационном реометре. Насколько обосновано использование при моделировании предположения о прямолинейности течения в декартовой системе координат?; можно ли считать, что профиль скорости остается линейным по высоте зазора при увеличении амплитуды колебания с фиксированным значением ее частоты?; и *с замечаниями*: из автореферата следует, что научной новизной диссертационного исследования является «...выявление появления «ступеньки» на одном из фронтов отклика», однако в работе Pivokonsky R. И др. «Two Ways to Examine ...» (2017) уже отмечено формирование «ступеньки» на силовых откликах в режимах LAOS для моделей Леонова, Гизекуса и ХХР; остается неясным, с какими структурными изменениями в жидкости связано появление этой «ступеньки», и как эту особенность отклика можно использовать для определения реологических свойств жидкостей,

их классификации? **Б. С. А. Саженков**, д-р физ.-мат. наук, старший научный сотрудник лаборатории краевых задач механики сплошных сред Института гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН, г. Новосибирск, *без замечаний*.

В отзывах отмечается, что использование альтернативных режимов течения для моделирования нелинейных реологических свойств жидкостей и развитие теории и методов динамического сдвига с большими амплитудами деформаций (LAOS) является важной и актуальной темой исследования. Н. А. Черпаковой представлены новые результаты исследования поведения концентрированных растворов полимерных материалов в режиме больших сдвиговых периодических деформаций; выполнено моделирование первой и второй разности нормальных напряжений в нелинейной области при относительной амплитуде 10 и 40 и в результате обнаружена удвоенная частота осцилляций относительно сдвигового напряжения. Ранее эффект удвоенной частоты практически не был описан в литературе, и поэтому его обнаружение представляет серьёзную новизну исследования. Результаты и выводы работы могут быть использованы для оптимизации процессов переработки полимерных материалов, выбора наиболее эффективных режимов работы оборудования, а также конструирования новых приборов.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что **О. В. Матвиенко** является известным специалистом в области математического моделирования течений псевдопластичных жидкостей, механики реологически сложных сред, теплообмена и химического реагирования в закрученных потоках, компьютерного моделирования задач тепломассообмена, моделирования гидромеханических процессов в классификационных аппаратах; **Д. Л. Ткачев** является известным специалистом в области исследования краевых задач для уравнений и систем уравнений в частных производных в областях с негладкой границей, задач обтекания для идеального, вязкого теплопроводного газов, описания переноса заряда в полупроводниках, исследования устойчивости стационарных решений для одного класса нелинейных вязкоупругих сред; **Пермский национальный исследовательский политехнический университет** известен своими достижениями в области механики жидкости, газа и плазмы, в том числе исследованиями в области перспективных полимерных материалов

и технологий их переработки, а также автоматизированных систем измерения реологических свойств полимерных композиций на основе полиэтилена, с большим количеством различных пластификаторов и наполнителей, придающих готовому изделию необходимые механические и электрические свойства.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

*разработан* численный метод решения задач определения напряжений, возникающих при деформировании полимерного раствора, основанный на применении модифицированной реологической модели Виноградова–Покровского;

*предложено* использовать фазовые траектории напряжения – скорости деформации и напряжения–деформации для анализа нелинейного отклика полимерной системы на большие сдвиговые деформации;

*установлено*, что нелинейные свойства исследованного образца проявляются в появлении ступеньки на переднем фронте нелинейного отклика, отклонении от эллипсоидной формы фигур Лиссажу и возникновении на них точек перегиба;

*показано* совпадение полученных результатов с экспериментальными данными 5 % массового раствора полиэтиленоксида в диметилсульфоксиде, исследованного при гармонических деформациях с большой амплитудой, достигающей 40 относительных единиц, которые измерялись при температуре 35 ° и частоте 0,2 Гц.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

*разработана* методика применения модифицированной реологической модели Виноградова–Покровского для моделирования осциллирующего сдвигового течения с большой амплитудой;

*изложены* основные положения исследования материалов в режиме больших периодических деформаций.

**Значение полученных соискателем результатов исследований для практики подтверждается тем, что:**

*созданы* средства моделирования нелинейных эффектов в режиме больших периодических деформаций, позволяющие оценить адекватность реологических



моделей, описать реологические свойства материала, на которые получено свидетельство о регистрации программ для ЭВМ;

*представлены* результаты сравнения теоретических и экспериментальных данных, которые демонстрируют пригодность модифицированной реологической модели Виногадова–Покровского для описания поведения растворов и расплавов полимеров в режиме больших периодических колебаний.

**Рекомендации об использовании результатов диссертационного исследования.** Разработанный метод расчета может найти применение в учебном процессе и в научных исследованиях, направленных на развитие теории релаксационных процессов в текучих полимерных системах, в частности при анализе нелинейных эффектов, возникающих при течениях в областях со сложной геометрией, в том числе в следующих организациях: Институт механики сплошных сред УрО РАН (г. Ижевск), Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН (г. Москва), Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН (г. Новосибирск), Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН (г. Новосибирск), Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН (г. Москва), а также в других научно-исследовательских институтах и вузах, где изучаются течения реологически сложных жидкостей.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

*использована* адекватная математическая модель, построенная на известных, проверяемых фактах и согласующаяся с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации;

*установлено* качественное и количественное согласование полученных автором результатов с данными теоретических и экспериментальных исследований из независимых источников по данной тематике;

*использованы* проверенные методики получения, обработки и анализа информации в области численного исследования физических свойств концентрированных растворов и расплавов полимеров.

**Научная новизна** результатов диссертационного исследования заключается в том, что в ходе работы впервые было выполнено математическое моделирование

нелинейных эффектов в полимерных жидкостях при больших осциллирующих сдвиговых деформациях на основе модифицированной реологической модели Виноградова–Покровского. Обнаружено увеличение несимметричности фронтов напряжения при увеличении амплитуды деформирования. Также были обнаружены ненулевые первая (положительная) и вторая (отрицательная) разности нормальных напряжений с удвоенным периодом относительно сдвигового напряжения.

**Личный вклад соискателя состоит в:** совместной с научным руководителем постановке задач, участии в создании математических моделей, программ, алгоритмов, обработке результатов исследований, формулировке выводов исследования. Результаты, имеющие научную новизну и вынесенные на защиту, получены автором лично.

Диссертация отвечает критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней для диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, и, в соответствии с пунктом 9 Положения, является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи по моделированию нелинейных эффектов в режиме больших периодических деформаций на основе модифицированной реологической модели Виноградова–Покровского, имеющей значение для развития механики жидкости, газа и плазмы.

На заседании 26.06.2019 диссертационный совет принял решение присудить **Черпаковой Н. А.** ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 20 человек, из них 5 докторов наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы, участвовавших в заседании, из 26 человек, входящих в состав совета, проголосовал: за – 20, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель

диссертационного совета



Шрагер Геннадий Рафаилович

Ученый секретарь

диссертационного совета

Пикущак Елизавета Владимировна

26.06.2020