

## 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 20 декабря 2018 года публичной защиты диссертации Мерзликиной Дарины Александровны «Моделирование нелинейной вязкоупругости расплавов разветвленных полимеров как следствие мезоскопического подхода к описанию их динамики» по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

Присутствовали 18 из 26 членов диссертационного совета, из них 6 докторов наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы:

1. Васенин Игорь Михайлович, заместитель председателя диссертационного совета	д-р физ.-мат. наук	01.02.05
2. Христенко Юрий Федорович, заместитель председателя диссертационного совета	д-р техн. наук	01.02.04
3. Пикушак Елизавета Владимировна, ученый секретарь диссертационного совета	канд. физ.-мат. наук	01.02.05
4. Архипов Владимир Афанасьевич	д-р физ.-мат. наук	01.02.05
5. Биматов Владимир Исмагилович	д-р физ.-мат. наук	01.02.05
6. Бутов Владимир Григорьевич	д-р физ.-мат. наук	01.04.14
7. Ворожцов Александр Борисович	д-р физ.-мат. наук	01.02.05
8. Глазунов Анатолий Алексеевич	д-р физ.-мат. наук	01.02.05
9. Глазырин Виктор Парфирьевич	д-р физ.-мат. наук	01.02.04
10. Зелепугин Сергей Алексеевич	д-р физ.-мат. наук	01.02.04
11. Крайнов Алексей Юрьевич	д-р физ.-мат. наук	01.04.14
12. Кульков Сергей Николаевич	д-р физ.-мат. наук	01.02.04
13. Люкшин Борис Александрович	д-р техн. наук	01.02.04
14. Прокофьев Вадим Геннадьевич	д-р физ.-мат. наук	01.04.14
15. Скрипняк Владимир Альбертович	д-р физ.-мат. наук	01.02.04
16. Тимченко Сергей Викторович	д-р физ.-мат. наук	01.02.05
17. Черепанов Олег Иванович	д-р физ.-мат. наук	01.02.04
18. Шрагер Эрнст Рафаилович	д-р физ.-мат. наук	01.04.14

**В связи с кончиной председателя диссертационного совета доктора физико-математических наук, профессора Гришина Анатолия Михайловича заседание провел заместитель председателя диссертационного совета доктор технических наук, старший научный сотрудник Христенко Юрий Федорович.**

По результатам защиты диссертации тайным голосованием (результаты голосования: за присуждение ученой степени – 18, против – нет, недействительных бюллетеней – нет) диссертационный совет принял решение присудить Д. А. Мерзликиной 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 20.12.2018 № 357

О присуждении **Мерзликиной Дарине Александровне**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация **«Моделирование нелинейной вязкоупругости расплавов разветвленных полимеров как следствие мезоскопического подхода к описанию их динамики»** по специальности **01.02.05** – Механика жидкости, газа и плазмы принята к защите 13.10.2018 (протокол заседания № 348) диссертационным советом **Д 212.267.13** 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 **Мерзликина Дарина Александровна**, 1990 года рождения.

В 2012 году соискатель окончила федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова».

В 2015 году соискатель очно окончила аспирантуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова».

Работает в должности лаборанта отдела сопровождения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Алтайский государственный университет» Министерства науки и высшего

образования Российской Федерации, по совместительству – в должности преподавателя кафедры математического анализа и прикладной математики 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 учреждения высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» Министерства образования и науки Российской Федерации и на кафедре математического анализа федерального государственного бюджетного учреждения высшего образования «Алтайский государственный университет» Министерства образования и науки Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, **Пышноград Григорий Владимирович**, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Алтайский государственный университет», факультет математики и информационных технологий, декан.

Официальные оппоненты:

**Рудяк Валерий Яковлевич**, доктор физико-математических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)», кафедра теоретической механики, профессор

**Саженов Сергей Александрович**, доктор физико-математических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева Сибирского отделения Российской академии наук, лаборатория математического моделирования фазовых переходов, старший научный сотрудник

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «**Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук**», г. Красноярск, в своем

положительном отзыве, подписанном **Андреевым Виктором Константиновичем** (доктор физико-математических наук, профессор, отдел дифференциальных уравнений механики Института вычислительного моделирования СО РАН – обособленного подразделения ФИЦ КНЦ СО РАН, заведующий отделом), указала, что высокие темпы внедрения полимерных материалов во все сферы производства обусловлены их уникальными физико-химическими и механическими свойствами, позволяющими обеспечивать экономию редких и дорогостоящих ресурсов, а также получать изделия, отличающиеся по своим свойствам. При изготовлении таких изделий, а также для повышения их качества требуется учитывать реологические характеристики полимерных материалов. Однако используемые в промышленности полимеры обладают существенной полидисперсностью и часто довольно сложной структурой, определяющей их вязкоупругие свойства. Для математического описания полимерных сред используются реологические модели, каждая из которых имеет свои преимущества и недостатки. Одной из наиболее востребованных является модифицированная модель Виноградова–Покровского, основанная на мезоскопическом подходе, который представляется достаточно перспективным. Однако данная модель не может предсказать некоторые наблюдаемые в опытах по течению полимерных сред явления, поэтому ее доработка, несомненно, является актуальной задачей. Д. А. Мерзликиной произведена модификация закона внутреннего трения, сделано предположение о зависимости параметров модели от первого инварианта тензора напряжения; осуществлен переход от одномодовой модели к многомодовой; разработана процедура оценки параметров многомодовой реологической модели, которая позволяет при любом количестве мод свести число параметров к двум, при этом количественная и качественная точность модели не теряется. Исследование вносит вклад в развитие методологии математического и численного моделирования течений полимерных сред.

Соискатель имеет 15 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 15 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 5 работ (из них в зарубежном научном журнале, переводная версия которого входит в Web of Science, опубликована 1 работа); в электронных сборниках материалов

конференций, входящих в Web of Science, опубликовано 2 работы; свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ получено 1; в сборниках материалов международных и всероссийских научных и научно-технической конференций, в том числе европейских реологических конференций, проходивших за рубежом, опубликовано 7 работ. Общий объем публикаций – 7,55 а.л., авторский вклад – 1,64 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. Аль Джода Х. Н. А. Модификация закона внутреннего трения в мезоскопической теории текучих полимерных сред / Х. Н. А. Аль Джода, Г. Л. Афонин, **Д. А. Мерзликينا**, П. Филип, Р. Пивоконский, Г. В. Пышнограй // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2013. – Т. 19, № 1. – С. 124–135. – 1,39 / 0,33 а.л.

2. **Мерзликина Д. А.** Многомодовая реологическая модель и следствия для простого сдвига и растяжения / Д. А. Мерзликина, П. Филип, Р. Пивоконский, Г. В. Пышнограй // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2013. – Т. 19, № 2. – С. 254–261. – 0,92 / 0,2 а.л.

3. **Мерзликина Д. А.** Реологическая модель для описания вискозиметрических течений расплавов разветвленных полимеров / Д. А. Мерзликина, Г. В. Пышнограй, Р. Пивоконский, П. Филип // Инженерно-физический журнал. – 2016. – Т. 89, № 3. – С. 643–651. – 1,04 / 0,25 п.л.

*в переводной версии журнала, индексируемой Web of Science:*

**Merzlikina D. A.** Rheological model for describing viscometric flows of melts of branched polymers / D. A. Merzlikina, G. V. Pyshnograï, R. Pivokonskii, P. Filip // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – 2016. – Vol. 89, № 3. – P. 652–659. – DOI: 10.1007/s10891-016-1423-7.

4. 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 / 0,11 а.л.

5. Пышнограй Г. В. Влияние первого инварианта тензора дополнительных напряжений на характеристики процесса формования полимерных пленок / Г. В. Пышнограй, А. Е. Кузнецов, **Д. А. Мерзликина**, Ю. Б. Трегубова // *Фундаментальные проблемы современного материаловедения*. – 2017. – Т. 14, № 2. – С. 153–158. – 0,58 / 0,08 а.л.

На автореферат поступило 7 положительных отзывов. Отзывы представили:

1. **О. И. Скульский**, д-р техн. наук, ст. науч. сотр., ведущий научный сотрудник лаборатории вычислительной гидродинамики Института механики сплошных сред УрО РАН – филиала Пермского федерального исследовательского центра УрО РАН, г. Пермь, *с замечанием*: на с. 8 говорится, что параметры модели (1) – известные функции концентрации, хотя сама диссертационная работа посвящена описанию динамики расплавов полимеров.
2. **А. А. Цхай**, д-р техн. наук, проф., профессор кафедры математического анализа и прикладной математики Алтайского государственного педагогического университета, г. Барнаул, *с замечанием*: имеется опечатка в записи выражения для тензора трения (3) – не указано, что тензор записан в минус первой степени.
3. **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, *без замечаний*.
4. **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 многомодовой модели, хотелось бы видеть доверительные интервалы.
5. **Н. М. Труфанова**, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой конструирования и технологий в электротехнике Пермского национального исследовательского

политехнического университета, *с замечанием:* в автореферате отсутствует информация о величине отклонения полученных кривых вискозиметрических функций от экспериментальных данных. **6. Д. С. Сандитов**, д-р физ.-мат. наук, проф., профессор кафедры общей физики Бурятского государственного университета, г. Улан-Удэ, *с замечанием:* поскольку, как следует из автореферата, все расчеты в диссертации относятся к интервалу температур, где полимер находится в вязкотекучем состоянии, в дальнейшей деятельности автору следует применить свои разработки к частотным, температурным зависимостям реологических характеристик полимеров; на с. 9 автореферата даются большие номера ссылок [102, 110, 111], которые, очевидно, относятся к самой диссертации – их надо было включить в «Список цитируемой литературы» автореферата. **7. Д. Л. Ткачев**, д-р физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории вычислительных проблем задач математической физики Института математики им. С.Л. Соболева СО РАН, г. Новосибирск, *с замечаниями:* в тексте автореферата (и в тексте самой диссертации!) необходимо не просто дать ссылку на работу ( Pokrovskii V. N. The Mesoscopic Theory of Polymer Dynamics/ 2nd Edition / V. N. Pokrovskii. – Springer, Berlin. – 2010 – 184p.) и изменение знака при больших деформациях, но и привести аргументацию, при каких режимах представление (2) тензора внутреннего трения «предпочтительнее» представления (3), а также сформулировать полную модель с учетом внутреннего трения; неясно, на каком основании выбирается именно приведенная в тексте зависимость феноменологических параметров  $\beta$  и  $\kappa$  от первого инварианта тензора анизотропии (кстати, монотонное возрастание этих параметров обеспечено не при всех начальных значениях этих параметров, нужно вводить ограничения); непараболический характер профиля скорости и наличие ненулевого перепада давления в модели Покровского-Виноградова обоснован в работе Бамбаева Н. В., Блохин А. М. Стационарные решения уравнений несжимаемой вязкоупругой полимерной жидкости // Журнал вычислительной математики и математической физики, 2014, том 54, № 5, с. 109-134 (см. также работу Блохин А. М., Егитов А. В., Ткачев Д. Л. Линейная неустойчивость решений математической модели, описывающей течения полимеров в бесконечном канале // Журнал вычислительной

математики и математической физики, 2015, том 55, № 5, с. 850-875); необходима более содержательная аргументация в пользу выбора именно таких зависимостей компонент  $f_\alpha$  и  $p_\alpha$  (формулы приведены в начале отзыва) от параметров В и Р.

В отзывах отмечается, что актуальность диссертационного исследования Д. А. Мерзликиной определяется тем, что, в настоящее время не существует единой реологической теории, позволяющей описывать все процессы, происходящие в течениях расплавов и растворов полимеров, несмотря на широкую распространенность полимерных материалов. Поэтому необходимо изучать, как существующие модели описывают сложные течения полимерных материалов, а также совершенствовать такие модели для получения наиболее точных результатов. В частности, описание процессов деформации полимерного расплава с помощью многомодовой реологической модели, несомненно, является актуальной научной задачей. Д. А. Мерзликиной показан немонотонный характер зависимости вязкости при одноосном растяжении; сформулирована многомодовая реологическая модель, позволяющая добиться существенного повышения точности теоретических расчетов, исследовано влияние параметров разработанной реологической модели на графики вискозиметрических функций; произведено сравнение данных, полученных по разработанной реологической модели с результатами экспериментов, а также результатами, полученными по другим современным реологическим моделям; сделан вывод о пригодности многомодовой реологической модели Виноградова-Покровского для описания течений полимерных расплавов. Полученные результаты имеют несомненное значение для описания механики текучих полимерных систем и могут быть использованы для оптимизации процессов переработки полимерных материалов, выбора наиболее эффективных режимов работы оборудования, для конструирования новых приборов, а также в вузах при разработке новых курсов лекций и обучении студентов старших курсов и аспирантов.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что **В. Я. Рудяк** – известный специалист в области моделирования и изучения макро-, микро- и нано-течений ньютоновских и неньютоновских жидкостей, в вопросах неравновесной статистической механики процессов переноса, процессов

переноса в газах, жидкостях, и в наножидкостях; **С.А. Саженов** – известный специалист в области математического моделирования динамики вязкого газа, а также несжимаемых жидкостей, вычисления эффективных значений вязкости смеси жидкостей; **Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук»** известен своими достижениями в области численных методов движения жидкости, неклассических задач гидродинамики, разработке эффективных вычислительных методов и конструированию алгоритмов, работающих с гарантированной точностью, устойчивых к вычислительным ошибкам и ошибкам в исходных данных.

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

*описан* немонотонный характер зависимости вязкости при одноосном растяжении – значения вязкости при одноосном растяжении достигают максимума, а затем начинают уменьшаться;

*сформулирована* реологическая модель, позволяющая учитывать многомодовость релаксационных процессов;

*показано*, что стационарные и нестационарные вискозиметрические функции, рассчитанные по разработанной модели, достаточно хорошо согласуются с экспериментальными данными;

*выявлено*, что расчеты, произведенные по разработанной многомодовой модели, в целом дают сходные по своей точности результаты с другими общепризнанными современными моделями;

*продемонстрировано*, что сформулированная многомодовая реологическая модель пригодна для качественного описания вискозиметрических течений расплавов полимеров.

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

*полученные* результаты исследований послужат развитию методов, применяемых при математическом моделировании течений полимерных сред;

*полученные* результаты исследований послужат основой для верификации многомодовой реологической модели в области реальных течений.

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

*использование* этой модели в реальных устройствах позволит проводить расчёты с учётом всех факторов, что является необходимым условием разработки новых конструкций, модификации уже существующих и повышения эффективности работы технологического оборудования;

*использование* этой модели при планировании проведения экспериментов позволит получить реологические свойства полимерного расплава.

**Рекомендации об использовании результатов диссертационного исследования.** Полученные результаты говорят о пригодности многомодовой реологической модели для описания реальных течений расплавов полимеров и могут найти применение в исследованиях по механике сплошных сред, проводимых в различных научных и учебных заведениях: Институт механики сплошных сред УрО РАН (г. Пермь), Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН (г. Новосибирск), Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН (г. Новосибирск), Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Национальный исследовательский Томский государственный университет, а также в других организациях, занимающихся исследованиями течений полимерных материалов в областях со сложной геометрией и использоваться при подготовке высококвалифицированных специалистов в области механики сплошных сред.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

Результаты численных расчетов получены на основе апробированных численных методов механики жидкости и газа и обладают высокой степенью воспроизводимости;

*проведено* сравнение результатов численных расчетов с имеющимися в мировой литературе экспериментальными данными других исследователей, которое показало качественное и количественное соответствие.

**.Научная новизна** результатов диссертационного исследования заключается в том, что проведена модификация закона внутреннего трения, сформулирована многомодовая реологическая модель, на основе которой было проведено

моделирование вискозиметрических течений расплавов полимеров, исследовано влияние параметров модели на вид получаемых зависимостей для вискозиметрических функций, а также разработана методика подбора значений таких параметров.

**Личный вклад соискателя состоит в:** осуществлении совместно с научным руководителем постановки всех задач диссертации; разработке алгоритмов моделирования и расчёта течений расплавов полимеров на основе многомодовой реологической модели; получении основных результатов, выносимых на защиту; обработке и анализе всех полученных данных; участии в обсуждении результатов исследования, формулировке выводов и заключений по материалам исследования и подготовке основных публикаций по теме диссертации.

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 описанию процессов деформации полимерного расплава с помощью многомодовой реологической модели с повышенной точностью, имеющей значение для развития механики жидкости, газа и плазмы.

На заседании 20.12.2018 диссертационный совет принял решение присудить **Мерзликиной Д. А.** ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 6 докторов наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы, участвовавших в заседании, из 26 человек, входящих в состав совета, проголосовал: за – 1, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Заместитель председателя  
диссертационного совета

Ученый секретарь  
диссертационного совета

20.12.2018



Христенко Юрий Федорович

Пикущак Елизавета Владимировна