

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 004.036.01 НА БАЗЕ  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ  
ПЕРМСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
(ФИЛИАЛ – ИНСТИТУТ МЕХАНИКИ СПЛОШНЫХ СРЕД)  
УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 14.11.2019 № 44

О присуждении Кузнецовой Юлии Леонидовне, гражданке России, ученой степени кандидата физико-математических наук.

**Диссертация** «Реометрические течения полимерных жидкостей с учетом сдвигового расслоения потока» по специальности 01.02.05 «Механика жидкости, газа и плазмы» принята к защите 09.09.2019, протокол № 37, диссертационным советом Д 004.036.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермский федеральный исследовательский центр (филиал – Институт механики сплошных сред) Уральского отделения Российской академии наук, 614013, г. Пермь, ул. Академика Королева, д. 1, утвержденным приказом Минобрнауки России № 87/нк от 26 января 2018 г.

**Соискатель** Кузнецова Юлия Леонидовна 1980 года рождения, в 2003 г. окончила ГОУ ВПО Пермский государственный технический университет по направлению «Прикладная математика и информатика». В 2006 г. окончила аспирантуру очной формы обучения Пермского государственного технического университета по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела. В настоящее время работает инженером лаборатории вычислительной гидродинамики ИМСС УрО РАН. Диссертация выполнена в лаборатории вычислительной гидродинамики ИМСС УрО РАН по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы.

**Научный руководитель** – д.т.н. Скульский Олег Иванович, ведущий научный сотрудник лаборатории вычислительной гидродинамики ИМСС УрО РАН.

**Официальные оппоненты:**

1. Просвиряков Евгений Юрьевич, доктор физико-математических наук, заведующий сектором нелинейной вихревой гидродинамики ФГБУН "Институт машиноведения Уральского отделения Российской академии наук" (г. Екатеринбург),
2. Перминов Анатолий Викторович, доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры общей физики ФГБОУ ВО "Пермский национальный исследовательский политехнический университет" (г. Пермь),

дали положительные отзывы на диссертацию.

**Ведущая организация:** Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский Томский государственный университет", г. Томск, в своем положительном заключении, составленном Шрагером Геннадием Рафаиловичем, д.ф.-м.н., профессором, заведующим кафедрой прикладной газовой динамики и горения, и утвержденном проректором по инновационной и научной деятельности ФГАОУ ВО "Национальный исследовательский Томский государственный университет", д.ф.-м.н., профессором

А.Б. Ворожцовым, указала, что диссертация является законченной научно-исследовательской работой в области теоретического исследования гидродинамических течений в конструкционных элементах вискозиметров, в которой в рамках модифицированной модели Виноградова–Покровского решены актуальные задачи моделирования реометрических течений полимерных жидкостей с учетом сдвигового расслоения потока. Полученные результаты имеют как практическую ценность, так и фундаментальную значимость, а также высокую степень новизны и достоверности. Представленная диссертационная работа «Реометрические течения полимерных жидкостей с учетом сдвигового расслоения потока» удовлетворяет критериям Положения ВАК РФ «О присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением правительства РФ №842 от 24.09.2013, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Кузнецова Юлия Леонидовна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы.

**Соискателем опубликовано** 11 научных работ, в том числе 6 статей в ведущих рецензируемых журналах, входящих в перечень, рекомендованный ВАК:

1. **Кузнецова Ю.Л.,** Скульский О.И., Пышнограй Г.В. Течение нелинейной упруговязкой жидкости в плоском канале под действием заданного перепада давления // Вычислительная механика сплошных сред. – 2010. – Т. 3, № 2. – С. 55-69.

*В работе рассмотрена задача плоскопараллельного течения в канале под действием заданного перепада давления для нелинейной упруговязкой жидкости, описываемой MVP-моделью. Представлены аналитические и численные решения задачи для значений параметров модели, соответствующих немонотонной кривой течения.*

2. **Kuznetsova J.L.,** Skul'skiy O.I. Verification of mesoscopic models of viscoelastic fluids with a non-monotonic flow curve // Korea-Australia Rheology Journal. – 2016. – V. 28, № 1. – P. 33-40.

*Проведено сравнение зависимостей реологических характеристик от скорости сдвига и формируемого при течении Пуазейля профиля скорости, предсказываемых MVP-моделью, с аналогичными зависимостями, полученными с использованием нелинейной мезоструктурной модели Remmelas–Harrison–Leal (RHL-модели).*

3. **Кузнецова Ю.Л.,** Скульский О.И. Расслоение потока жидкости с немонотонной зависимостью напряжения течения от скорости деформации // Вычислительная механика сплошных сред. – 2018. – Т. 11, № 1. – С. 68-78.

*Получены аналитические и численные решения задачи напорного течения в плоском канале со встречным движением одной из стенок для жидкости, описываемой MVP-моделью. Параметры модели, используемые для демонстрации решений, рассчитывались по алгоритму, основанному на аппроксимации экспериментальных данных, которые не подвергались предварительной обработке.*

4. **Кузнецова Ю.Л.,** Скульский О.И. Влияние расслоения потока полимерных жидкостей на форму реологических характеристик // Вычислительная механика сплошных сред. – 2018. – Т. 11, № 4. – С. 429-437.

*Представлены аналитические и численные решения задачи о цилиндрическом течении Куэтта для жидкости, описываемой MVP-моделью. Проведено исследование влияния времени разгона и режимов нагружения на форму профиля скорости и зависимость*

*вращательного момента от угловой скорости.*

5. Славнов Е.В., Скульский О.И., Шакиров Н.В., Судаков А.И., Кузнецова Ю.Л., Кряжевских О.В. Реологическое поведение сверхвысокомолекулярного полиэтилена // ИФЖ. – 2018. – Т. 91, № 5. – С. 1392-1401.

*Применение MVP-модели для описания экспериментально измеренной для сверхвысокомолекулярного полиэтилена немонотонной кривой течения.*

6. Кузнецова Ю.Л., Скульский О.И. Влияние режимов течения на расслоение сдвигового потока жидкости с немонотонной кривой течения // ПМТФ. – 2019. – Т. 60, № 1. С. 27-36.

*Продемонстрировано существование бесконечного множества стационарных решений задачи куэттовского течения жидкости, описываемой моделью с немонотонной кривой течения. Приведено численное решение задачи в квазистационарной постановке. Показано влияние времени разгона ограничивающей поверхности на профиль скорости и форму зависимости касательного напряжения от экспериментальной (аппаратной) скорости сдвига.*

Публикации содержат в сумме 63 страниц и в полной мере отражают основные научные результаты работы. Недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах в тексте диссертации отсутствуют.

**На диссертацию и автореферат поступили отзывы:** от оппонентов и ведущей организации.

1. Положительный отзыв официального оппонента Просвирякова Е.Ю. В отзыве представлен анализ содержания диссертации, отмечается актуальность темы диссертации, новизна, научная и практическая значимость полученных результатов, обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций. Оппонент отмечает следующие замечания по диссертации и автореферату:

- Замечание о необходимости пояснения используемого с диссертационной работе термина «сдвиговое течение».
- Замечание о том, что лучше говорить не о прямолинейном движении жидкости, а об однонаправленном течении.
- Замечание об отсутствии в тексте диссертации пояснения о влиянии значения волнового числа на критерий устойчивости линейного куэттовского профиля скорости.
- При численных решениях выводы о сходимости основывались на «машинной» сходимости. Всегда при уменьшении шага сетки наблюдалась близость к известным результатам?

2. Положительный отзыв официального оппонента Перминова А.В. В отзыве отмечено, что диссертация содержит новые теоретические результаты, позволяющие расширить область применимости реологической модели Виноградова–Покровского на класс жидкостей, проявляющих эффект разделения сдвигового потока на слои и связанные с ним явления гистерезиса и формирования плато на зависимостях, измеряемых в реометрических экспериментах. Оппонент отмечает следующие замечания:

- Замечание о необходимости внести в текст диссертации ссылки на работы, в которых проведен вывод модели Виноградова–Покровского, а также привести соотношения нулевого приближения этой модели.

- Пояснить значения терминов первая и вторая разности нормальных напряжений. Также отмечается, что термин «аппаратная скорость сдвига» впервые упоминается на стр. 63, а его пояснение появляется только на стр.69.
- В главе 4 представлено решение ряда задач, где рассматриваются реометрические течения. В пунктах, описывающих постановку задач, очень не хватает рисунков, поясняющих их геометрию.
- В главе 4 диссертации есть упоминания о совпадении результатов теоретических расчетов реометрических течений с экспериментом, но нет ссылок на соответствующие работы. Для наглядности было бы неплохо наложить результаты теоретических расчетов на экспериментальные графики, либо привести результаты экспериментов в тексте для демонстрации качественного совпадения.

3. Положительный отзыв ведущей организации. В отзыве отмечается, что проведенный автором анализ математической модели сдвиговых течений жидкости с использованием модифицированной реологической модели Виноградова–Покровского может найти дальнейшее применение в реометрических исследованиях полимерных жидкостей, проявляющих эффекты расслоения потока, гистерезиса и формирования плато на зависимостях крутящего момента от угловой скорости, а также в различных научных и учебных организациях: ФГУП ФЦДТ «Союз» (г. Дзержинский Московской области), ОАО «ФНПЦ «Алтай» (г. Бийск Алтайского края), Удмуртский федеральный исследовательский центр УрО РАН (г. Ижевск) Национальный исследовательский Томский государственный университет, и на других предприятиях.

Ведущая организация отмечает следующие замечания:

- Представляется целесообразным проведение сравнительного анализа существующих реологических моделей с точки зрения описания рассматриваемых эффектов с последующей оценкой области адекватности модели Виноградова–Покровского. В работе представлена скудная информация по этому вопросу.
- Автор обосновывает необходимость корректировки методик обработки результатов реометрии аномальных текучих сред. Однако использование для этой цели полученных результатов требует не только качественного, но и количественного подтверждения. В работе упоминается лишь о качественном подтверждении и отсутствует какая либо демонстрация согласования с имеющимися экспериментальными данными.
- Существуют решения для вискозиметрических течений жидкости Виноградова–Покровского (Алтухов Ю.А., Пышнограй Г.В. и др.). Возможный переход полученных решений в известные при соответствующих параметрах – дополнительная теоретическая основа представленных результатов.
- В работе отсутствует количественная информация тестирования численных алгоритмов. Наглядное представление сходимости используемых вычислительных методик для задач с ограниченной областью устойчивости решений является полезным.

**На автореферат поступило 4 отзыва:**

1. Положительный отзыв от Беляевой Н.А., д.ф.-м.н., доцента, профессора кафедры математического моделирования и кибернетики ФГБОУ ВО "Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина", г. Сыктывкар (без замечаний);

2. Положительный отзыв от Брутяна М.А., д.ф.-м.н., доцента, главного научного сотрудника ФГУП "Центральный аэрогидродинамический институт им. Н.Е. Жуковского" (ЦАГИ), г. Москва (без замечаний);
3. Положительный отзыв от Кутузова А.Г., д.т.н., доцента, заведующего кафедрой химической кибернетики ФГБОУ ВО "Казанский национальный исследовательский технологический университет", г. Казань (без замечаний);
4. Положительный отзыв от Пышногрой Г.В. д.ф.-м.н., профессора, профессора кафедры высшей математики ФГБОУ ВО "Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова", г. Барнаул (1 замечание).

**В отзывах на автореферат содержатся следующие замечания:**

- Уравнение (1) отличается от модели Виноградова–Покровского наличием в скобках слагаемого с единичным тензором, умноженным на треть первого инварианта структурного тензора. Может ли это повлиять на полученные в диссертации результаты?

В отзывах отмечено, что диссертация является законченным исследованием и представляет научный интерес, прошла достаточную апробацию, содержит новые результаты, достоверность которых обоснована, тема работы является актуальной, результаты имеют высокую научную ценность и большое прикладное значение.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается следующим:

**официальные оппоненты** являются одними из ведущих специалистов в области гидродинамики неньютоновских жидкостей, имеют большое число публикации с результатами теоретических исследований различных гидродинамических систем, обладают достаточной квалификацией, позволяющей оценить новизну представленных на защиту результатов, их научную и практическую значимость, обоснованность и достоверность полученных выводов;

**ведущая организация** ФГАОУ ВО "Национальный исследовательский Томский государственный университет" (г. Томск) является одним из ведущих научных центров в области физической гидродинамики, в нем активно ведутся фундаментальные и прикладные исследования по широкому спектру проблем физики и механики высокоэнергетических процессов, механики жидкостей и газов, механики деформируемого твердого тела. Университет является учредителем более 30 научных изданий, среди которых: "Russian Physics Journal", "Вестник Томского государственного университета. Математика и механика", включенные в международные базы WoS и Scopus. Отзыв ведущей организации, содержащий подробную, по главам, характеристику содержания диссертационной работы; высокую положительную оценку актуальности темы исследования, достоверности, новизны, теоретической и практической значимости изложенных результатов обсужден и одобрен на расширенном заседании кафедры прикладной газовой динамики и горения в присутствии признанных авторитетных специалистов по теме защищаемой диссертации.

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

**разработана** модификация мезоструктурной реологической модели Виноградова–Покровского, расширяющий границы ее применимости и позволяющий описать

немонотонность кривой течения, сдвиговое расслоение потока, гистерезисную петлю и плато в реометрических экспериментах;

**предложено** новое аналитическое решение системы модельных нелинейных уравнений, благодаря которому определен диапазон параметров, соответствующих немонотонной кривой течения;

**доказана** перспективность предложенной модели для описания динамики жидкостей, в которых наблюдается разделение сдвигового потока на слои с различной степенью упорядочения мезоструктуры, гистерезис и формирование плато в реометрических экспериментах;

**введен** термин «аппаратная скорость сдвига», обозначающий скорость сдвига, усредненную поперек зазора вискозиметра.

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

**доказана** возможность применения модифицированной реологической модели в ранее неисследованном диапазоне значений параметров, что позволило предсказать немонотонность кривой течения и предел растяжения мезоструктуры.

**Применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов):**

**использован** комплекс базовых методов решения нелинейных алгебраических уравнений, численных методов решения краевых задач с учетом эволюции мезоструктуры жидкостей в условиях расслоения потока и стандартных методов исследования линейной устойчивости стационарных решений;

**изложены** основные предположения, используемые при построении модифицированной реологической модели Виноградова–Покровского;

**раскрыто** условие формирования немонотонности кривой течения и условие устойчивости линейного профиля скорости в течении Куэтта;

**изучено** влияние времени разгона стенки ротационного реометрического прибора на форму установившегося профиля скорости;

**проведена модернизация** методики обработки реологических измерений в условиях расслоения потоков, основанная на полученных в работе аналитических решениях.

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

**разработан** новый вариант модели Виноградова–Покровского, позволивший получить адекватную интерпретацию немонотонных реологических кривых;

**определены** параметры модели, соответствующие немонотонным кривым течения, и зависимость реологических характеристик полимерных жидкостей от аппаратной скорости сдвига;

**создана** методика расчета параметров модифицированной модели Виноградова–Покровского по данным измерений в капиллярном вискозиметре;

**представлены** методические рекомендации по обработке реометрических экспериментальных данных.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

**теория** построена с использованием фундаментальных соотношений механики жидкости и газа и термодинамики сплошных сред;

**идея базируется** на анализе известных моделей реологических течений и экспериментальных данных по реологии полимерных жидкостей;

**использованы** известные аналитические методы решения задач, моделирующих реометрические сдвиговые течения неньютоновской жидкости, методы математического анализа и современные апробированные численные методы;

**установлено** качественное соответствие нового варианта мезоструктурной модели Виноградова–Покровского с известными экспериментальными данными по течению сложных реологических сред.

**Личный вклад соискателя состоит** в обсуждении постановок задач, в самостоятельном проведении аналитических и численных расчетов, в анализе и интерпретации результатов, составивших основное содержание диссертационной работы. Автору принадлежит разработка и апробация метода определения параметров модели по экспериментальным данным капиллярного вискозиметра.

**Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной задачи (проблемы) и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается** наличием последовательного плана исследования, концептуальности и взаимосвязи основных выводов.

Диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует требованиям п. 9 "Положения о присуждении ученых степеней" № 842, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г.: в ней содержится решение задачи математического моделирования реометрических течений с учетом сдвигового расслоения потока, имеющее существенное значение для развития методов обработки экспериментальных данных жидкотекучих сред с изменяющейся в процессе течения структурой.

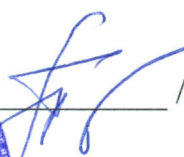
На заседании 14 ноября 2019 г. диссертационный совет принял решение присудить Кузнецовой Ю.Л. ученую степень кандидата физико-математических наук.

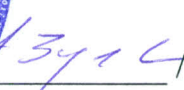
При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человека, из них 9 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящего в состав совета, дополнительно введено на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за – 17, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Заместитель председателя  
диссертационного совета Д 004.036.01  
д.ф.-м.н., профессор,  
Райхер Юрий Львович

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д 004.036.01  
д.ф.-м.н., доцент  
Зуев Андрей Леонидович



 / Райхер Ю.Л.

 / Зуев А.Л.

15 ноября 2019 г.