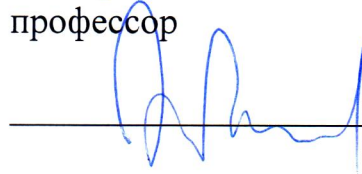


УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной и инновационной  
деятельности Национального  
исследовательского Томского  
государственного университета,  
доктор физико-математических наук,  
профессор



« 29 » октября 2019 г.

### **ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

на диссертационную работу Кузнецовой Юлии Леонидовны  
«Реометрические течения полимерных жидкостей  
с учетом сдвигового расслоения потока»,  
представленную на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук  
по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы

**Актуальность темы диссертационной работы.** Течения растворов и расплавов полимеров, которые характеризуются сложным реологическим поведением, достаточно широко распространены в химической индустрии. Развитие экспериментального оборудования позволило выявить различные эффекты в течениях полимерных композиций, такие как расслоение потока, гистерезис расходно-напорной характеристики, «спурт эффект», учет которых важен при разработке технологических процессов и создании различных технических устройств. Для теоретического изучения данных особенностей необходимо использовать хорошо апробированные реологические модели, позволяющие адекватно описывать поведения жидких сред при их деформировании. В большинстве реометрических экспериментов измерения характеристик потока выполняются на границах области, в связи с чем неверные предположения о структуре потока могут приводить к некорректным результатам. Таким образом, диссертационная работа Ю. Л. Кузнецовой «Реометрические течения полимерных жидкостей с учетом сдвигового расслоения потока», посвященная теоретическому исследованию особенностей одномерных течений, формирующихся в конструктивных элементах вискозиметров, является актуальной.

**Характеристика содержания диссертационной работы.** Цель диссертационной работы заключается в теоретическом анализе реометрических

течений полимерных жидкостей с использованием модифицированной модели Виноградова–Покровского.

Диссертация состоит из введения, 5 разделов, заключения, списка литературы, изложенных на 123 страницах машинописного текста, включая 60 рисунков, 3 таблицы и список литературы из 96 наименований.

Во **введении** обоснована актуальность, сформулирована цель и поставлены задачи, раскрыта новизна выполненного исследования, отмечена теоретическая и практическая значимость диссертационной работы, сформулированы основные положения, выносимые на защиту, подтверждена достоверность полученных результатов, указаны сведения об апробации работы и публикациях автора.

В **первой главе** приведено описание современного состояния вопроса о реометрических исследованиях жидкостей, проявляющих вязкоупругие свойства, представлен обзор реологических моделей, используемых для описания течений полимерных жидкостей. Особое внимание уделено эффекту расслоения потока жидкости, экспериментально наблюдаемому в сдвиговых течениях.

Во **второй главе** описано физическое содержание и представлен вывод модифицированной модели Виноградова-Покровского (MVP), учитывающей анизотропию вязких свойств, и установлена связь параметров реологического закона с мезоструктурными свойствами растворов и расплавов полимеров.

В **третьей главе** сформулирована постановка задачи об одномерном установившемся течении с использованием модели MVP в плоском и осесимметричном приближениях, которая сводится к системе нелинейных алгебраических уравнений. Выписаны аналитические выражения для реологических характеристик жидкости в зависимости от скорости сдвига. Проведен анализ, выделена область параметров модели, в которой полученное решение противоречит физическим предположениям. Продемонстрированы решения, которые приводят к немонотонной кривой течения.

Моделированию сдвиговых течений полимерных жидкостей, реализуемых в большинстве вискозиметров, с использованием модели MVP посвящена **четвертая глава**. Рассмотрены: течение между двумя параллельными стенками, одна из которых движется с постоянной скоростью; течение Куэтта; течение в плоском канале под действием заданного перепада давления. Показано, что в области параметров модели с немонотонной кривой течения, реализуется решение с эффектом расслоения потока, наблюдаемым в натуральных экспериментах. Проведен анализ устойчивости этого решения и определено критическое значение скорости сдвига, превышение которого приводит к неустойчивости. Представлены результаты численного моделирования рассматриваемых течений в нестационарной постановке от момента покоя до определенного стационарного состояния.

В пятой главе предложен алгоритм определения параметров MVP-модели по экспериментальным данным, полученным на капиллярном вискозиметре. Поиск параметров осуществляется на основе аналитического решения задачи о течении в щели под действием заданного перепада давления.

В заключении сформулированы основные результаты, полученные в диссертационной работе, среди которых следует выделить следующие:

– проведен математический анализ сдвигового течения жидкости, описываемой MVP моделью, получены аналитические соотношения зависимостей мезоструктурных характеристик потока от скорости сдвига, проведен анализ устойчивости полученного решения;

– продемонстрировано согласование характеристик потока с экспериментальными данными, в том числе MVP-модель с немонотонной кривой течения предсказывает наблюдаемые в натуральных экспериментах для полимерных жидкостях эффекты, например, расслоение потока в сдвиговом течении; уменьшение сдвиговой вязкости и первой разности нормальных напряжений при увеличении скорости сдвига и др;

– предложен алгоритм определения параметров MVP-модели по экспериментальным данным, который базируется на полученных в работе аналитических решениях задачи, моделирующей реометрическое течение в канале под действием перепада давления.

**Достоверность** изложенных в работе результатов обеспечивается строгостью математических постановок задач, использованием фундаментальных положений математического анализа и механики сплошных сред и согласованием результатов с экспериментальными данными.

**Теоретическая и практическая значимость результатов исследований.** 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 «Федеральный центр двойных технологий «Союз» (г. Дзержинский Московской области), АО «Федеральный научно-производственный центр «Алтай» (г. Бийск Алтайского края), Удмуртский федеральный исследовательский центр УрО РАН (г. Ижевск), Национальный исследовательский Томский государственный университет, и на других предприятиях.

**Автореферат** в полной мере отражает содержание диссертации, в нем последовательно раскрыты цель и поставленные задачи исследования,

представлены основные результаты работы, сформулированы положения, выносимые на защиту. Результаты и выводы в автореферате соответствуют цели и задачам исследования. По теме диссертации опубликованы 11 работ, в числе которых 6 статей в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, рекомендуемых ВАК РФ, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук (из них 3 работы в научных изданиях, входящих в базу Scopus); 1 статья в журнале, индексируемом системой РИНЦ; 4 публикации в сборниках материалов научных конференций.

По работе имеется ряд **замечаний**:

1. 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;

2. 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;

3. Существуют решения для вискозиметрических течений жидкости Виноградова – Покровского (Ю. А. Алтухов, Г. В. Пышнограй и др.). В диссертации не обсуждается возможный переход полученных решений в известные при соответствующих параметрах. Результаты такого анализа могли бы быть дополнительной теоретической основой выводов диссертации.

4. В работе отсутствует количественная информация тестирования численных алгоритмов. Наглядное представление сходимости используемых вычислительных методик для задач с ограниченной областью устойчивости решений является полезным.

Отмеченные замечания не снижают общую положительную оценку диссертационной работы.

**Заключение.** Диссертация Ю. Л. Кузнецовой соответствует отрасли «физико-математические науки», а содержательная часть и полученные результаты соответствуют паспорту научной специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы по областям исследования «Реологические законы поведения текучих однородных и многофазных сред при механических и других воздействиях», «Аналитические, асимптотические и численные методы

исследования уравнений кинетических и континуальных моделей однородных и многофазных сред» (п. 1, 18 паспорта специальности).

Диссертационная работа Ю. Л. Кузнецовой «Реометрические течения полимерных жидкостей с учетом сдвигового расслоения потока» является завершенным научным исследованием. Диссертация удовлетворяет требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г., № 842 (в редакции от 01.10.2018), 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.

Отзыв рассмотрен и одобрен на расширенном заседании кафедры прикладной газовой динамики и горения Национального исследовательского Томского государственного университета, протокол № 259 от «21» октября 2019 г.

Заведующий кафедрой прикладной  
газовой динамики и горения  
Национального исследовательского  
Томского государственного университета,  
доктор физико-математических наук  
(01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы),  
профессор



21.10.2019

Шрагер Геннадий Рафаилович  
*Геннадий Шрагер*  
*Подпись Шрагера Г.Р.*  
*Подтверждено*

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет»

Адрес: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36.

Тел.(382-2) 529-585;

E-mail: rector@tsu.ru;

Сайт: <http://www.tsu.ru>

