

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу Кузнецова Александра Евгеньевича
«Влияние реологических характеристик полимерного расплава на структуру
вихревого течения в сходящемся канале с прямоугольным сечением»,
представленную на соискание
ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы

Актуальность темы исследования

В настоящее время хозяйственная деятельность человечества неразрывно связано с развитием индустрии пластмасс – созданием новых и изучением существующих полимеров, способов их переработки, созданием образцов с новыми свойствами. Изделия из полимерных материалов сегодня можно встретить повсюду, начиная от предметов, окружающих человека в быту, и заканчивая деталями космических спутников и ракет, полученных с помощью 3D принтеров. Свойства и размеры этих изделий могут варьироваться в широких пределах – от части корпуса трансатлантических авиалайнеров до наночастей медицинских устройств, вживляемых в организм человека.

Поскольку важность полимерной промышленности для современного мира несомненна, то поэтому промышленность ставит перед научным сообществом задачу развития знаний о полимерных материалах, исследования их поведения в условиях промышленной переработки. Для этого используются различные реологические модели, проводятся натурные и вычислительные эксперименты.

При этом следует особо подчеркнуть, что до сих пор не создана теория, полностью или частично описывающая динамику течений полимерных материалов. Поэтому исследование применимости существующих реологических моделей для описания течений полимеров в различных условиях является актуальной научной задачей.

В настоящей работе делается попытка проверить адекватность модифицированной модели Виноградова-Покровского при описании течений расплавов полимеров в сходящихся каналах с прямоугольным сечением. Используя полученные численные результаты, по-видимому станет возможным определить границы применимости модифицированной реологической модели Виноградова-Покровского для описания данных течений.

Структура и объем диссертационной работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав и выводов по результатам исследования. Работа изложена на 121 странице и содержит 29 рисунков, 2 таблицы. Список литературы включает 86 наименований.

Во введении обсуждается актуальность, цель и задачи исследования, перечислены положения, выносимые на защиту, приводится краткое описание работы и формулируются выводы по основным результатам.

В первой главе приводятся основные сведения механики сплошных сред: закон сохранения массы, уравнения движения сплошной среды, приведены некоторые сведения из теории тензорного исчисления. Рассмотрено большое количество работ, в которых обсуждаются течения вязких и вязкоупругих сред. В параграфе 1.5 приведен обзор различных реологических моделей, применяемых на сегодняшний день для исследования течений полимерных материалов. Среди них рассмотрены: модели Олдройда-Б, Гизекуса, Леонова-Прокунина, де Женна, Доя-Эдвардса, Кертиса-Берда и последующие обобщения этих моделей.

Вторая глава посвящена описанию численных методов, которые были использованы для нахождения решения систем уравнений в частных производных. Обсуждаются основы методов конечных разностей и конечных элементов, а также метод контрольного объёма. Приводится обзор существующих технологий для параллельных вычислений.

В третьей главе приведено описание модифицированной реологической модели Виноградова-Покровского, полученной на базе статистического подхода. Статистический подход построения определяющего реологического соотношения позволяет отследить связи между характеристиками системы на микро- и макроуровне. Оценка адекватности модели для описания реальных течений полимерных материалов проводится путём сравнения с вискозиметрическими течениями. Сделан вывод о том, что модифицированная реологическая модель Виноградова-Покровского может использоваться в качестве начального приближения при описании нелинейных и вязкоупругих свойств расплавов полимеров, а также при описании стационарного сдвигового течения полимерных материалов.

В четвёртой главе приводятся основные результаты численного моделирования течений полимерных расплавов в сходящемся канале с прямоугольным сечением.

Изложены результаты исследования влияния реологических характеристик (время релаксации и начальная вязкость полимерного материала) на размер и структуру возвратных течений в области входа в щелевой канал. Показано, что зависимость размеров вихревой области, возникающей у входа в щелевой канал, от температуры расплава носит немонотонный характер. Предложено объяснение такого характера зависимости.

Обнаружено, что максимальное значение скорости достигается на некотором расстоянии за входом в щелевой канал, а перед входом в узкую часть канала течение становится трёхмерным, что выражается в наличии винтового потока, направленного к стенкам резервуара.

На основе сравнения результатов моделирования с имеющимися в литературе экспериментальными данными делается вывод о пригодности модифицированной реологической модели Виноградова-Покровского для качественного описания течений расплавов полимеров в сходящемся канале с прямоугольным сечением.

В заключении диссертационной работы сформулированы основные выводы по проведенному исследованию и отмечены теоретическая и практическая значимость работы.

Степень обоснованности и достоверности научных положений и выводов, сформулированных в диссертации, обеспечивается корректностью постановок задач, использованием апробированных вычислительных методов и реологических моделей, соответствием результатов вычислительных экспериментов известным литературным данным.

Научная новизна исследования и полученных результатов. По моему мнению, главная заслуга диссертанта заключается в создании работоспособного вычислительного алгоритма для расчета 3D течений несжимаемой полимерной жидкости.

Значимость результатов диссертационного исследования заключается именно в создании такого алгоритма.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации и отвечает всем предъявляемым требованиям.

Основные результаты диссертационного исследования апробированы на всероссийских и международных конференциях. Основные материалы диссертационной работы опубликованы в 14 работах, из них 5 статей 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 издании, индексируемом Scopus, 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ, 6 публикаций в сборниках материалов международных и всероссийских научных конференций.

Замечания к диссертационной работе

Перейдем к замечаниям

1. Первое замечание относится к введению, к обзору литературы по полимерам. Надо признать этот обзор весьма поверхностным (количество литературы по полимерам огромное!). В качестве примера я хотел бы привести обзор ВИНТИ по механике М.А. Брутяна, П.Л. Крапивского «Гидродинамика неньютоновских жидкостей», ВИНТИ, 1991, с.3-98.

2. Не очень понятен смысл появления в диссертации 1-ой и 2-ой глав. Дело в том, что там приводятся известные сведения из механики сплошной среды и вычислительных методов уравнений математической физики.

3. Возникают определенные сомнения и по поводу 3-ей главы. Дело в том, что вискозиметрические функции и их конструкция подробно обсуждаются в основополагающей монографии [57] и в диссертации Макаровой М.А. (см. [58]). В чем смысл появления материала 3-ей главы?

4. «Ударным» местом всей диссертации является 4-ая глава. Однако и по этой главе имеются замечания. Зачем приводится безразмерная модель (4.9), если в дальнейшем численный расчет ведется с помощью размерной математической модели (4.1)? На самом деле численные расчеты надо было бы ввести для безразмерной модели, поскольку в этом случае сокращается количество параметров, характеризующих задачу.

В главе 4 полностью отсутствует анализ устойчивости предлагаемой разностной схемы. Поскольку для пространственных производных использовались центральные разности, то возникает вопрос о влиянии краевых условий на устойчивость предлагаемого алгоритма. Точно так же при использовании метода расщепления возникает известная проблема задания краевых условий для вспомогательных величин и влияние их на общую устойчивость алгоритма.

По численным результатам имеются также вопросы. Например, как зависит размер вихря от количества узлов? Число Рейнольдса в данной задаче

можно определять двойко, используя в качестве характерной длины либо ширину широкого канала H_{res} , либо узкого канала H_{slit} . Как зависят результаты численных расчетов от этих чисел Рейнольдса?

При описании основных результатов диссертант упирает на немонотонный характер зависимости размеров вихря от температуры. На самом деле никакой зависимости от T нет, поскольку используется изотермическая модель течения полимерной жидкости (просто диссертант берет различные значения η_0 и τ_0). Один вариант неизотермической модели течения полимерной жидкости предложен в работе Блохина А.М., Рудометовой А.С. «Стационарные решения уравнений, описывающих неизотермическую электроконвекцию слабопроводящей несжимаемой полимерной жидкости». СибЖИМ, 2015, т. XVIII, №1(61), с.3-13.

В заключении хотелось бы высказать одно пожелание. Диссертант утверждает, что обнаружен винтовой характер 3D потока в канале. Интересно отметить, что в некоторых медицинских кругах утверждается, что течение крови в сосудах тоже имеет винтовой характер. Хорошо бы диссертанту обсудить свою работу с исследователями в области медицины.

Заключение:

Диссертационная работа А.Е. Кузнецова «Влияние реологических характеристик полимерного расплава на структуру вихревого течения в сходящемся канале с прямоугольным сечением» является в определенном смысле законченной научно-исследовательской работой, выполненной на достаточно высоком квалификационном уровне, и отвечает требованиям п. 9 постановления правительства РФ от 24.09.2013 №842 «О порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Александр Евгеньевич Кузнецов, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы.

Официальный оппонент:

заведующий лабораторией «Вычислительные проблемы задач математической физики» федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт математики им. С. Л. Соболева Сибирского отделения Российской

академии наук, доктор физико-математических наук (01.01.02 – Дифференциальные уравнения), профессор



Блох Блохин Александр Михайлович

17 сентября 2018 г.

Сведения об организации: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт математики им. С. Л. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук; 630090, Новосибирск-90, пр. Академика Коптюга, 4, тел.: 8-(383)363-46-52; im@math.nsc.ru; сайт организации: <http://www.math.nsc.ru>

Подпись	<i>А.М. Блюссина</i>
удостоверяю	<i>[Signature]</i>
Зав. орготделом	Н.З. Киндалева
ИМ СО РАН	
«17» 09 2018 г.	