

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Борзенко Евгения Ивановича «Моделирование неизотермических течений реологически сложной жидкости при заполнении плоских и осесимметричных каналов» представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.05-Механика жидкости, газа и плазмы.

Диссертационная работа Борзенко Е.И. посвящена приоритетным научным направлениям механики сплошной среды – математическому моделированию процесса заполнения плоских и осесимметричных каналов высоконаполненными полимерными композициями в неизотермических условиях. Для построения исходных моделей деформационных свойств жидкотекучих наполненных композиций с полимерным связующим, автор диссертационной работы воспользовался математической теорией диссипативных жестко-вязкопластических сред Мосолова и Мясникова В.П., которая обобщает наиболее используемые реологические модели Шведова-Бингама и Балкли-Гершеля. Их особенность заключается в неопределенности напряжений в жестком ядре. Предложенные к настоящему времени модели упругого ядра исключают эту неопределенность, но значительно усложняют получение решений краевых задач построенных на их основе. Для исключения неопределенности напряжений в жестком ядре, автор исключает его рассмотрение путем введения регуляризации и приведения деформационных свойств рассматриваемой среды к нелинейно-вязкой жидкости с «квазитвердым» ядром течения ограниченным некоторой предельной скоростью деформаций. Такая модификация модели широко используется специалистами в области вычислительного эксперимента, позволяет использовать схемы сквозного счета, адекватно описывать реологическое поведение рассматриваемых сред и эволюцию свободной поверхности. Полученную математическую модель процесса заполнения автор в последующих главах диссертационной работы расширяет на неизотермический случай с учетом вязкой диссипации и зависимостью реологических свойств от температуры. Решение поставленных краевых задач производится численно с использованием метода контрольного объема.

Одной из основных сложностей решения рассматриваемых краевых задач связано с изменением расчетной области во времени, обусловленное эволюцией свободной поверхности в процессе заполнения и корректной реализацией кинематических и динамических граничных условий на ней и линии трехфазного контакта. Поэтому

разработка эффективных численных алгоритмов их решения, на сетках адаптирующихся к большим изменениям свободной поверхности в условиях неустойчивости реологических свойств среды является в настоящее время чрезвычайно **актуальной задачей**. Диссертационная работа Борзенко Е.И. является ярким примером высокоэффективного применения и **дальнейшего развития** инвариантного подхода Васенина И.М. и Шрагера Г.Р. в численной реализации краевых условий на свободной поверхности в неизотермических условиях заполнения.

Автором диссертационной работы сформулированы корректные математические постановки задач о нестационарных неизотермических течениях реологически сложных жидкостей со свободной поверхностью, выполнены обширные вычислительные эксперименты по исследованию влияния определяющих безразмерных критериев на эволюцию свободной поверхности, топологию «квазитвердых» подобластей и кинематику потока в условиях неустойчивости реологических свойств. Показано влияние вязкой диссипации в формировании термомеханической истории жидких элементов при заполнении рассматриваемых областей, что позволяет прогнозировать морфологию формируемых изделий в неизотермических условиях. В результате влияния и взаимодействия полей различной физической природы, движения заполняемой среды могут возрастать или замедляться вплоть до пробкового состояния и оно может становится неустойчивым и иметь различную структуру течения с проявлением критических явлений реологического происхождения и образованием пространственно неоднородных состояний структурированной жидкости в области сверханомалии предела текучести. В этих условиях стационарное состояние заполнения оказывается фактически нереализуемым, что может привести к непредсказуемым последствиям и дефектам при изготовлении изделий из высоконаполненных полимерных материалов. Факт потери устойчивости и возникновение гистерезисных переходов при течении в неизотермических условиях представляет собой «типичный переход» являющийся предметом исследования в теории диссипативных структур и имеет постоянно увеличивающееся значение в новых технологиях в которых совмещаются стадии образования полимера и формирования конечного изделия. Полученные результаты несомненно отражают **новизну** проведенных исследований.

К достоинствам работы следует отнести и развитие методик расчета и результаты численных исследований заполнения капилляра вязкой жидкостью.

Результаты диссертационной работы опубликованы в ведущих российских, зарубежных научных журналах и докладывались на большом количестве международных конференций и трех последних Всероссийских съездах по фундаментальным проблемам

теоретической и прикладной механики, что позволяет считать данную работу в достаточной степени представленной научной общественности.

В ходе работы над авторефератом диссертационной работы возникли вопросы и замечания:

1. На стр. 17 автореферата рис. 10 произведено сравнение структуры потока в канале с результатами работы Y. Dimakopoulos, 2018, который использовал для проведения расчетов модель жесткого ядра при значениях параметра Бингама $Bn = 1, 5$ и 10 . Расчеты автора диссертации выполнены с регуляризацией при значении параметра Бингама $Bn = 2$, то есть при разных параметрах. Как производилось сравнение и удалось восстановить жесткое ядро в области течения на входе в канал при столь большом параметре регуляризации?

2. На стр. 18 автореферата приведен безразмерный вид уравнений задачи с учетом неизотермических условий. Приведенный обобщенный параметр Бринкмана отличается от классического и фактически является параметром Гриффитса, т.е. классический Бринкман умноженный на число Пирсона. В этих условиях возникают сложности в анализе проведенных исследований начального этапа краевых задач с вязкой диссипацией, если вязкость не зависит от температуры (β_2 равно нулю), а параметр β стремится к бесконечности. В диссертации не приводятся значения параметров термозависимости вязкости и предела текучести и отношения температур стенки к начальной и затрудняет восприятие направленности теплообмена жидкости со стенкой с определением уровня вклада диссипативного разогрева.

3. В автореферате не обсуждаются конкретные композиты основанные на полимерных связующих и не приводятся их свойства. Типичные режимы их заполнения в технологических процессах происходят при значениях параметров $Br < 0.01$; $Pe > 10000$; $W > 200$; $\beta_2 = 0.01$. Чем вызваны исследования режимов заполнения с крайне низкими числами $Pe = 10$ и значениями числа Бринкмана $Br > 2.4$ предполагающие очень высокие значения теплопроводности с суперчувствительностью реологических свойств от температуры? В этих условиях автор получает квазитвердые ядра на твердой стенке области, т.е. в зоне максимальной вязкой диссипации. Обычно такие результаты связывают с фазовым переходом связующего (стеклование, кристаллизация, гелирование). По-видимому это связано с охлаждением композиции от стенок $Br < 2$, а предел текучести возрастает на порядок при охлаждении жидкости на три градуса по Цельсию? Кроме этого требуется термодинамическое обоснование экспоненциальной зависимости предела текучести от температуры?

4. При моделировании заполнения капилляра вязкой жидкостью скорость линии трехфазного контакта определяется из экспериментальной зависимости Хоффмана в функции от динамического и статического контактных углов с граничным условием скольжения на ней. Удовлетворяет ли ее значение основным уравнениям гидродинамики? В этих условиях как определяется динамический краевой угол? Как решается проблема сингулярности давления на ЛТФК?

В целом материалы автореферата позволяют сделать вывод, что диссертация Борзенко Е.И. является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных исследований разработаны теоретические положения краевых задач динамики неньютоновских жидкостей со свободными границами в неизотермических условиях обусловленных вязкой диссипацией и зависимостью их вязкости и предела текучести от температуры, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение, имеющее теоретическое значение для развития теории гидродинамики и теплообмена структурно-вязких-вязких диссипативных сред и практическое значение для прогнозирования эффективности новых технологических процессов переработки сред в жидкотекучем состоянии методом литья под давлением. Диссертационное исследование выполнено по актуальной проблеме, отвечает требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор Борзенко Е.И. заслуживает присвоения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.05-Механика жидкости, газа и плазмы.

Я, Чехонин Константин Александрович, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Борзенко Евгения Ивановича и их дальнейшую обработку.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Хабаровский Федеральный исследовательский центр Дальневосточного отделения Российской академии наук (ХФИЦ ДВО РАН)

Ведущий научный сотрудник

Вычислительного центра

Дальневосточного отделения РАН,

доктор физико-математических наук

Адрес: 680000, г.Хабаровск, ул. Ким Ю Чена, 65

e-mail: lex7861@rambler.ru

сайт: <http://www.fefbras.ru>

К.А. Чехонин



Солонина Т.Ю. заверяю.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Хабаровский федеральный исследовательский центр Дальневосточного отделения
Российской академии наук
Юридический адрес: 680000, г. Хабаровск, ул. Дзержинского, д. 54
Тел.: +7 (4212) 22-72-67; эл. почта: admvc@ccfebras.ru
Сайт: <http://www.ccfebras.ru>

25.11.2019