

Федеральное государственное
бюджетное учреждение науки
Институт механики сплошных сред
Уральского отделения
Российской академии наук
(ИМСС УрО РАН)
Академика Королева ул., д. 1,
Пермь, 614013
Телефон (342) 237-84-61
Факс (342) 237-84-87
E-mail: mvp@icmm.ru
ОКПО 02699895, ОГРН 1025900523110
ИНН/КПП 5902290160/590201001

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИМСС УрО РАН
академик РАН



В.П.Матвееenko

2015 г.

02.11.2015 № 16344/01-369
На № 31016/880 от 29.10.2015

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Фролова Олега Юрьевича «Влияние вязкой диссипации на характеристики течения жидкости при заполнении емкостей», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности
01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы

Диссертационная работа Фролова О.Ю. посвящена развитию новых численных методов механики вязкой жидкости в приложении к проблемам формирования материалов при помощи литья под давлением с учетом диссипации механической энергии и фронта свободной поверхности.

Актуальность темы диссертации.

Гидродинамические процессы при наличии свободных границ широко представлены в природе и в различных технических приложениях. Течения вязкой жидкости при заполнении емкостей, реализуемые, в частности, при переработке полимерных композиций методом литья, один из примеров подобных процессов. В общем случае течение полимерной жидкости при заполнении характеризуется сложным реологическим поведением, неизотермичностью, химическими превращениями, наличием свободной поверхности. Повышение эффективности и безопасности производства, новые рецептуры

полимерных композиций, приводящие к изменению их свойств, многообразие геометрических форм изделий обуславливают необходимость оптимизации существующих и разработку новых технологических режимов переработки. Решение возникающих при этом задач осуществляется методами физического и математического моделирования. Сложность математических моделей, адекватно описывающих современное физическое представление рассматриваемых процессов, их многопараметричность, обуславливают также разработку эффективных численных алгоритмов с привлечением технологий параллельных вычислений при реализации на супер-ЭВМ. Всё перечисленное и определяет актуальность выполненных исследований.

Общая характеристика диссертации

Диссертация состоит из введения, трех разделов, заключения и списка литературы. Общий объем работы составляет 108 страниц, список литературы включает 137 наименований.

Во введении сформулированы цели и задачи исследования, обоснованы их актуальность, практическая и теоретическая значимость, достоверность и новизна полученных результатов. Здесь же сформулированы положения, выносимые на защиту, приведены сведения об апробации результатов на различных конференциях и о имеющихся публикациях автора по теме диссертации.

В первом разделе представлен аналитический обзор литературы по направлению и теме исследования. В этом разделе соискатель кратко характеризует объекты, проблемы, методы и достижения вычислительной гидродинамики. Здесь же анализируются основные стадии метода литья под давлением с характеристикой их физического содержания с точки зрения физико-химической гидродинамики. Далее автор описывает численные методы решения задач гидродинамики со свободной поверхностью, ограничиваясь, в основном, конечно-разностной технологией эйлера и лагранжева подходов. В последнем пункте раздела описывается современное представление о

влиянии фонтанирующего эффекта на кинематическую картину заполнения в приближениях ньютоновского и неньютоновского поведения жидкой среды.

Второй раздел посвящен описанию метода расчета неизотермических течений вязкой жидкости со свободной поверхностью в плоской и осесимметричной постановках. Основная система уравнений включает в себя уравнение конвекции-диффузии, записанное для обобщенной переменной, уравнение неразрывности и уравнение энергии. Предлагаемая вычислительная технология объединяет метод контрольного объема с использованием SIMPLE-процедуры для расчета искомых функций внутри области и метод инвариантов для численной реализации граничных условий на свободной поверхности. В результате выписываются расчетные формулы для определения составляющих вектора скорости с использованием экспоненциальной схемы, поправки для давления, температуры с использованием схемы против потока для аппроксимации конвективных слагаемых во внутренних узлах сетки и нахождения искомых функций в узлах сетки на свободной поверхности.

В третьем разделе представлены математическая формулировка задачи о неизотермическом заполнении плоского канала и круглой трубы вязкой жидкостью, описание алгоритма реализации предлагаемой вычислительной технологии и результаты параметрических расчетов рассматриваемых течений. Математическую основу рассматриваемых процессов образуют уравнения Навье-Стокса, уравнение неразрывности, уравнение энергии и эта система замыкается экспоненциальной зависимостью вязкости от температуры, формулируются соответствующие начальные и граничные условия. Детально исследуется кинематика течений при заполнении плоского канала и круглой трубы для изотермического и неизотермического случаев. Для неизотермического течения в математической модели учитывается диссипативный разогрев жидкой среды и зависимость вязкости от температуры. В результате параметрических исследований получены зависимости геометрических характеристик формы свободной поверхности и структуры течений в определенном диапазоне изменения определяющих безразмерных параметров. Резуль-

таты расчетов для изотермического приближения аппроксимируются функциональными зависимостями. Демонстрируется влияние вязкой диссипации на распределения скорости, температуры, вязкости, давления в зависимости от значений определяющих параметров. Отдельный пункт посвящен исследованию деформации и ориентации элементов жидкости при заполнении круглой трубы в изотермических и неизотермических условиях с целью прогнозирования морфологии формуемого образца.

В заключении сформулированы основные результаты проведенных исследований.

Научная новизна результатов диссертации

Выполненные исследования содержит элементы новизны, в качестве которых можно выделить следующие:

- Вычислительная технология расчета осесимметричных течений вязкой жидкости со свободной поверхностью, объединяющая метод контрольного объема и метод инвариантов;
- Результаты параметрических исследований, демонстрирующие влияние вязкой диссипации на кинематические и динамические характеристики течений, формирование тепловых полей, деформацию и ориентацию элементов жидкой среды в процессе заполнения плоского канала и круглой трубы;
- Критериальные зависимости, определяющие выпуклость свободной поверхности и длину зоны фонтанирующего течения в зависимости от соотношения гравитационных и вязких сил в потоке для рассматриваемых процессов в изотермических условиях.

Достоверность и обоснованность результатов диссертации

Достоверность результатов исследований обеспечивается использованием базовых уравнений физико-химической гидродинамики, адекватно описывающих физическое содержание исследуемых процессов и подтверждает-

ся тестовыми расчетами, согласованием полученных результатов с данными вычислительного и физического экспериментов других авторов.

Основные научные результаты, содержащиеся в диссертации, достаточно полно изложены в 11 опубликованных работах, в том числе 4 статьи в журналах, включенных в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук (из них 2 статьи в российских журналах, переводные версии которых включены в базы данных Scopus и Web of Science). Результаты диссертации докладывались и обсуждались на международных и всероссийских научных конференциях.

Автореферат соответствует содержанию диссертации и достаточно полно отражает результаты исследований.

Теоретическая и практическая значимость диссертации

Теоретическая значимость диссертации определяется полученными новыми знаниями, способствующими более глубокому пониманию процессов тепломассообмена и физико-химической гидродинамики со свободной поверхностью. Результаты расчетов, разработанные вычислительные методики и программный комплекс могут использоваться при выборе технологического регламента и конструировании соответствующего оборудования в производстве изделий методом литья на таких предприятиях, как АО «Федеральный научно-производственный центр «Алтай» (г. Бийск, Алтайский край), ФГУП «Федеральный центр двойных технологий «СОЮЗ» (г. Дзержинский, Московская обл.), АО «Научно-исследовательский институт полимерных материалов» (г. Пермь) и в других организациях, где реализуется переработка жидких сред методом литья.

Замечания по диссертации

1. В описании метода расчета отсутствует информация об определении значений искомых функций в нерегулярных узлах, приграничных к свободной поверхности.
2. Во втором разделе расчетные формулы выписываются для уравнений, содержащих размерные переменные, однако используются они в третьем разделе для численной реализации математической постановки в безразмерных переменных.
3. Отсутствует обоснование игнорирования силы поверхностного натяжения на свободной границе.
4. В связи с поведением кривых на рис. 3.6 было бы уместным подробнее описать алгоритм расчета движения точки трехфазного контакта.
5. Одним из безразмерных критериев рассматриваемых течений является число Рейнольдса. Однако в работе отсутствует анализ влияния этого критерия на характеристики процесса заполнения.
6. Отсутствует информация о размере элемента жидкости, числе частиц-маркеров на нем при описании исследования ориентации и деформации элемента жидкости в потоке при заполнении круглой трубы.
7. В работе отсутствует список основных обозначений, что затрудняет чтение текста, например, безразмерное число Бринкмана (Br), характеризующие отношение тепла вязкой диссипации к теплу теплопроводности и константа в решении одного дифференциального уравнения, обозначены одним символом C_1 .

Заключение

По своим целям и задачам, содержанию и методам исследования диссертация Фролова О.Ю. соответствует паспорту специальности 01.02.05-Механика жидкости, газа и плазмы (физико-математические науки) по областям исследования «Тепломассообмен в газах и жидкостях», «Физико-химическая гидромеханика».

Диссертация Фролова Олега Юрьевича «Влияние вязкой диссипации на характеристики течения жидкости при заполнении емкостей» является самостоятельным, логически завершенным научным исследованием, в котором содержится решение задачи, имеющей значение для развития физико-математических основ процессов тепломассопереноса в движущихся жидкостях и физико-химической гидромеханики. Диссертация удовлетворяет требованиям пп. 9-11(раздел II) «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемых ВАК к кандидатским диссертациям, а ее автор Фролов О.Ю. заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05-Механика жидкости, газа и плазмы.

Отзыв составлен ведущим научным сотрудником, доктором технических наук, старшим научным сотрудником Березиным Игорем Константиновичем на основании положительного заключения научного семинара лаборатории гидродинамической устойчивости ИМСС УрО РАН и утвержденном единогласно на заседании ученого совета ИМСС УрО РАН (протокол № 8-15 от 02.11.2015 г.)

Ведущий научный сотрудник
лаборатории гидродинамической устойчивости
д.т.н., ст. научн. сотр. Березин Игорь Константинович

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт механики сплошных сред
Уральского отделения Российской академии наук
Адрес: 614013, г. Пермь, ул. Академика Королева, д.1
<http://www.icmm.ru>
тел.: (342) 237-84-61
E-mail: mvp@icmm.ru



Личную подпись: Березин И.К.
Удостоверяю: [подпись]
Специалист по кадрам: [подпись]