

Сведения о выполненных работах в 2022 году
по проекту «**Разработка средств моделирования и исследования течений
высоковязких неньютоновских жидкостей с целью прогнозирования
технологических режимов переработки высокоэнергетических полимерных
композиций**», поддержанному Российским научным фондом

Соглашение № 18-19-00021

Руководитель Шрагер Геннадий Рафаилович, д-р физ.-мат. наук

Проект направлен на решение фундаментальной проблемы физико-химической гидродинамики, связанной с моделированием неизотермических течений неньютоновских сред, в том числе при наличии свободной поверхности и движущейся линии трехфазного контакта, применительно к технологии переработки высокоэнергетических полимерных композиций методом литья.

За отчетный период были проведены параметрические расчеты течений полимерных композиций при заполнении каналов с центральным телом с учетом механического и химического источников тепла, зависимости реологических свойств от температуры и глубины превращения, наличия свободной поверхности. Получены поля кинематических, динамических, тепловых характеристик потока, эволюция свободной поверхности со временем в зависимости от значений определяющих параметров. Определены основные факторы влияния на форму свободной поверхности на стадии квазистационарного режима заполнения пресс-форм, найдены значения критерия Стокса, при которых происходит потеря устойчивости квазистационарного режима. Выявлены режимы формирования свободной поверхности во входном узле пресс-формы для канального изделия. Выполнен анализ этих режимов с точки зрения бездефектного изготовления изделий. Получены значения числа Стокса, как наиболее значимого параметра влияния на характер течения во входном узле, при которых происходит смена режимов формирования свободной поверхности.

Проведены исследования структуры неизотермических потоков в трубе с резким сужением, с граничными условиями смешанного типа для теплообмена на твердой стенке для вязкопластичной жидкости Шведова – Бингама. Геометрия трубы определяется следующими характерными значениями: длина широкой части трубы равна 20; длина узкой части трубы равна 300; отношение радиусов труб равно 2. Длины участков твердой стенки с заданными адиабатическими условиями для широкой и узкой частей трубы являются переменными параметрами задачи. Параметрические расчеты выполнены для разных значений чисел Рейнольдса, Пекле, Бринкмана, Бингама: $1 \leq Re \leq 50$; $100 \leq Pe \leq 1000$; $0.5 \leq Br \leq 4$; $1 \leq Bn \leq 10$. Получены распределения линий тока, скорости и температуры и реализовано их сравнение в двух рассмотренных случаях граничных условий для температуры на стенке. Выявлены характерные особенности структуры потоков, которые заключаются в расщеплении квазитвердых ядер и образовании дополнительных застойных зон при определенных наборах параметров. Получены значения коэффициента местного сопротивления при варьировании чисел Бринкмана, Пекле, Рейнольдса и Бингама. Выполнена оценка влияния теплового режима на структуру течения и местные потери

давления. Показано, что использование граничных условий для температуры смешанного типа позволяет снизить местные потери давления.

Выполнены исследования неизотермического стационарного течения степенной жидкости в трубе с резким расширением. Получены геометрические характеристики структуры потока, включающей в себя зоны одномерного течения в узкой и широкой частях трубы, зону циркуляционного движения и зоны двумерного течения в окрестности скачка сечения. Определены значения размеров зон двумерного течения в зависимости от числа Пекле, числа Рейнольдса и показателя нелинейности жидкости. Показано влияние механизмов переноса тепла и реологии жидкости на распределения температуры и эффективной вязкости в окрестности скачка сечения трубы. Вязкая диссипация способствует более интенсивному прогреву жидкости в узкой части трубы, а увеличение числа Пекле обеспечивает рост и смещение прогретой области к выходной границе.

Разработан алгоритм расчета пространственных течений степенной жидкости со свободной поверхностью на основе метода контрольного объема и модифицированной технологии VOF-метода для выделения местоположения и формы свободной поверхности. Определены структура потока, поля кинематических и динамических характеристик течения степенной жидкости, эволюции свободной поверхности со временем в процессе пространственного заполнения канала квадратного сечения. Для ньютоновской жидкости результаты расчетов согласуются с данными, полученными методом граничных элементов (Шрагер Г.Р., Козлобродов А.Н., Якутенок В.А. Моделирование гидродинамических процессов в технологии переработки полимерных материалов. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1999. 230 с.).

Проведены параметрические расчеты течения степенной жидкости со свободной поверхностью во входном узле вертикальной емкости с центральным телом в следующем диапазоне определяющих параметров: $0.001 \leq Re \leq 10$; $0 \leq W \leq 20$; $0.8 \leq n \leq 1.2$. При этом ширина узкого канала и центрального тела равна 1, ширина зазора в широкой части канала равна 4, высота расположения тела над входным сечением в широкую часть канала равна 1, а высота узкого канала равна 3.

Выявлены различные режимы формирования свободной поверхности на начальной стадии заполнения пресс-формы для канального изделия в зависимости от значения числа Стокса, характеризующего отношение гравитационных и вязких сил в потоке. Построены диаграммы режимов заполнения в зависимости от значений чисел Рейнольдса и Стокса при заданных значениях показателя нелинейности.

Получены результаты параметрических исследований степени отверждения эпоксидной смолы в кольцевом зазоре в соответствии с кинетическим уравнением реакции отверждения n -ого порядка с самоускорением, определено время полного отверждения при различных условиях.

Выполнены численные исследования процесса отверждения пропитанного эпоксидной смолой волокнистого материала с учетом остаточных напряжений в прямоугольной области. Получены поля температуры, степени отверждения с течением времени в зависимости от технологического режима отверждения.