

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор  
ООО ФПК "Космос-Нефть-Газ"



Шевцов А. П.

10 апреля 2015 г.

## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

ООО ФПК "Космос-Нефть-Газ" о диссертационной работе Ноаман Салама Абдулхалека Ноамана на тему «Математическое и компьютерное моделирование образов сложных вращательных течений микроструктурных вязкопластических материалов», представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 «математические модели, численные методы и комплексы программ».

### Общая характеристика работы

Диссертационная работа выполнена в ФГБОУ ВПО "Воронежский государственный университет".

Диссертация включает введение, 4 главы перечень цитируемой литературы и листинг программы. Работа изложена на 115 страницах машинописного текста, содержит 39 рисунков, библиографию из 194 наименований, блок-схему и листинг программы.

Диссертационная работа представляет собой логично выстроенное и завершённое научное исследование модифицированной математической модели Бингама течения вязкопластического материала и её применение к математическому и компьютерному моделированию вращательного течения реальных реологически сложных материалов, применяемых в современных технологиях гидроразрыва нефтегазоносных пластов и в эффективной смазке трущихся поверхностей.

### **Актуальность темы**

Классические модели течения и деформирования жидких и твёрдых материалов формулируются в виде систем уравнений в частных производных, выполняющихся в точке пространства (для представительного материального объема  $\Delta V = h^3$ ) с погрешностью порядка  $h^2$ .

Для современных технологий, в которых характерной линейный размер  $L$  достаточно мал, безразмерная характерная величина  $\delta = h/L$  оказывается значимой, что требует уточнения математических моделей.

Это приводит к появлению производных до 4-го порядка по геометрическим пространственным координатам в уточненной математической модели Бингама и позволяет квалифицировать построенную математическую модель как сингулярно возмущенную, что создает дополнительные трудности её исследования применительно к практическим задачам и даёт широкие возможности описания явлений, порожденных микроструктурой материала.

Поэтому диссертационная работа, направленная на уточнение классических математических моделей с целью описания эффектов микроструктуры материала в процессе их течения, является безусловно актуальной.

### **Основные научные результаты:**

1. Дана формулировка замкнутой математической модели вращательного движения микроструктурного вязкопластического материала с учётом выделения пограничного слоя, граничных условий на заданных внешних границах и условия на границе затвердевания вязкопластического материала.

2. Создан алгоритм и расчётные формулы построения поля скоростей вращательного течения микроструктурного вязкопластического материала в зазоре с внешней эллиптической границей и внутренним вращающимся валом.

3. Разработан алгоритм расчёта поля скоростей течения в кольцевом зазоре с эксцентрично вращающимся внутренним валом, графики скоростей течения в зазоре показали сохранение общего характера сдвигового течения при малом эксцентриситете расположения внутреннего вала.

4. Создан программный комплекс, реализующий численный алгоритм дискретизации исследуемой сингулярно возмущенной задачи методом конечных элементов (МКЭ) с использованием нелинейных базисных функций. Программа решения полученной системы линейных алгебраических уравнений реализована в среде Delphi. Построенный алгоритм обладает устойчивостью по отношению к малым возмущениям и позволяет проводить расчёты поля скорости без выделения пограничного слоя. Погрешность построенного алгоритма есть величина порядка геометрического шага разбиения и зависит от параметра  $\sigma$  базисных функций.

### **Научная новизна полученных результатов состоит в следующем:**

1. Дана полная формулировка математической модели течения микроструктурного вязкопластического материала с подвижной и неподвижной поверхностью и границей отвердевания материала,

установлены граничные условия полного прилипания материала к границе области течения и граничные условия допускающие скольжение вдоль стенки.

2. Методом малого параметра построены выражения для основного и возмущенного поля скоростей за счёт эллиптичности внешней границы.

3. Установлены величины возмущения давления и скорости кругового течения микроструктурного вязкопластического материала в зазоре с эксцентрично вращающимся цилиндром.

4. Вычислительные эксперименты на компьютерной модели вращательного течения материала позволили оценить влияние увлечения материала вращающимся цилиндром и возможным окружным перепадом давления. Компьютерная модель при уменьшении размеров конечного элемента позволяет уловить тонкости перехода течения из пограничного слоя в основной поток.

### **Практическое значение результатов**

Практическая значимость результатов диссертации определяется областью их применения в ситуациях, когда отсутствуют математические модели и методы расчета течения микроструктурного вязкопластического материала: это течение материалов в химических технологиях, пульпы в горнодобывающей промышленности, сложных растворов в технологиях гидроразрывов пластов и др. Полученные в диссертации решения задач методом малого параметра и МКЭ могут служить частью общих курсов и спецкурсов для магистров, обучающихся по специальности «математическое моделирование», «механика деформируемого твердого тела» и ряда других.

### **Степень обоснованности научных положений и выводов**

Все научные результаты, представленные в диссертации воспроизводимы, получены путем правильного применения

фундаментальных подходов методов математического и компьютерного моделирования, теории уравнений в частных производных, механики сплошных сред, методов малого параметра решения регулярно и сингулярно возмущенных дифференциальных уравнений, метода конечных элементов с нелинейными базисными функциями, методов линейной алгебры решения систем линейных алгебраических уравнений с трехдиагональной матрицей, методов прогонки, использованием стандартных программ построения пространственных графиков и правилами программирования в среде Delphi.

### **Публикации**

Автореферат и опубликованные работы отражают основные положения диссертации. Результаты работы достаточно полно представлены в журналах, рекомендованных ВАК РФ (2 статьи), а также статьи в сборниках материалов международных конференций.

### **Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации**

Результаты исследований Ноаман С. А. могут быть полезными при расчет вращательных течений на предприятиях, ведущих расчётно-конструкторские работы для нефтехимической и горно-рудной промышленности – ОАО КБХА г. Воронеж, ООО “Космос-Нефть-Газ” г. Воронеж, а также в иных организациях занимающихся математическим моделированием течения и деформирования сложных сред.

Материал диссертации будет полезен в вузах занимающихся подготовкой магистров по специальностям: Математическое моделирование - 05.13.18; 05.13.17; Механика деформируемого твёрдого тела-01.02.04.

### **Замечания по диссертационной работе:**

1. Математическая модель течения МВПМ, сформированная в нестационарном виде (1.20), не дополнена начальными условиями и ее нужно было обосновать более подробно.

2. График рис. 2.2 содержит лишнюю область и приведен в мелком масштабе.

3. Недостаточно освещён вопрос перехода пограничного слоя во внешний поток.

4. Неудобно воспринимаются графики рис. 3.7-3.8 в ортогональной декартовой системе координат, где угловая координата отложена вдоль линии.

5. Не пояснены правила построения вектора в (4.20) в дискретной модели течения МВПМ.

6. Не выведен в интерфейс момент сил сопротивления вращения вала в цилиндрическом зазоре.

7. В тексте работы встречаются описки: на стр. 16 в формуле (1.5) вместе  $\sigma_{kk}$  должно стоять  $\varepsilon_{kk}$ ; на рис. 1.3 пропущено наименование осей; в формуле 2.40 для скорости в пограничном слое опущена постоянная - скорость стенки на которой исследуется пограничный слой.

### **Оценка качества оформления работы**

Диссертация написана грамотным научным языком, оформлена с достаточным количеством рисунков и расчётных графиков. Выдержана логическая последовательность изложения: введение, главы, список источников. Обоснована актуальность темы, доказательны все научные результаты.

### **Заключение**

Однако, указанные замечания не носят принципиального характера и не умаляют достоинств диссертации.

Полученные результаты полностью соответствуют заявленным в работе целям и задачам. Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации и отражает основные идеи и выводы диссертации.

Диссертационная работа Ноамана Салама Абдулхалека Ноамана представляет законченную научно-квалификационную работу по специальности 05.13.18 - Математические модели, численные методы и комплексы программ, в которой содержится решение важной теоретической и практической задачи моделирования течения новых технологических материалов, обладающих однородной микроструктурой.

По актуальности поставленной задачи, новизне, практической значимости диссертационная работа Ноамана Салама Абдулхалека Ноамана «Математическое и компьютерное моделирование образов сложных вращательных течений микроструктурных вязкопластических материалов» полностью соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года, предъявляемым к кандидатским диссертациям, представленным на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор - Ноаман Салам Абдулхалек Ноаман заслуживает присуждения искомой степени по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Отзыв по диссертационной работе и автореферату Ноамана Салама Абдулхалека Ноамана «Математическое и компьютерное моделирование образов сложных вращательных течений микроструктурных вязкопластических материалов» представленной на соискание научной степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы

программ» рассмотрен и одобрен на заседании Научно-технического Совета ООО ФПК "Космос-Нефть-Газ" 10 апреля 2015 года (протокол № 1).

**Отзыв составлен**

Помощник исполнительного директора  
по новой технике, доктор технических наук

 А.И. Сухов

Директор по науке и инновациям,  
доктор химических наук



В.Ю.Хохлов

Хохлов Владимир Юрьевич - доктор химических наук, директор по науке и инновациям ООО «Нефтехимпроект Космос-Нефть-Газ».

394019, г. Воронеж, ул. 9 Января, 180.

Тел: (473)2479108

E-mail: khokhlov@nknkng.vrn.ru

*Подписи А.И. Сухова и В.Ю. Хохлова заверяю.  
Начальник  
отдела кадров Шену - /Ислюженко Т.В./*

