

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу  
Юлмухаметовой Регины Рафисовны  
«Математическое моделирование нестационарного течения дисперсных систем в плоских каналах различной геометрии»,  
представленную на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук по специальности  
1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы

В диссертационной работе Юлмухаметовой Регины Рафисовны представлены результаты теоретического исследования влияния физических параметров дисперсных систем и геометрических характеристик каналов на конвективные течения концентрированных двухфазных систем в условиях естественной и вынужденной конвекции. Изучены особенности течений дисперсных систем в каналах прямоугольного сечения при вынужденной конвекции в зависимости от перепада давления, скорости нагнетания и угла наклона канала. Проведено математическое моделирование динамики дисперсной системы в сети пересекающихся каналов в зависимости от значений соотношения характерных чисел Рейнольдса и соотношения длины основного канала с открытым или закрытым торцом к длине вторичного канала с открытыми торцами. Рассмотрены особенности течений слабоконцентрированных дисперсных систем в каналах прямоугольного сечения при тепловой конвекции в зависимости от чисел Рэлея и Архимеда. Исследования проведены численно с помощью программ открытой среды Lazarus и модифицированных решатели открытой интегрируемой платформы для численного моделирования задач механики сплошных сред OpenFOAM.

**Актуальность темы** диссертационной работы определяется, прежде всего, тем, что дисперсные системы чрезвычайно распространены в природе, медицине, технике. Для разработки, проектирования и оптимизации процессов тепло-массообмена таких систем необходимо детальное понимание явлений, происходящих в них при учете различных факторов. Ввиду ограниченности возможности аналитического исследования актуальность темы исследований обусловлена необходимостью развития методов математического моделирования течения динамики дисперсных систем в каналах сложной геометрии.

**Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций** в диссертационной работе Юлмухаметовой Р. Р. соответствует общепринятой в рамках специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы.

Рассматриваемые математические модели дисперсных течений основаны на общих фундаментальных законах и уравнениях механики сплошной среды и всесторонне апробированы. Сформулированные научные положения и рекомендации не противоречат общим гидродинамическим и теплофизическим представлениям.

Основной целью диссертационной работы Юлмухаметовой Р. Р. является исследование влияния физических параметров дисперсных систем и геометрических характеристик каналов на течение концентрированных двухфазных систем в условиях естественной и вынужденной конвекции. Для этого проведены численные исследования математических моделей, расширяющих теоретические представления о теплофизических и гидродинамических особенностях процессов динамики дисперсных систем в каналах сложной геометрии.

Для достижения поставленной цели в диссертации решены следующие задачи.

1. Построена математическая модель течения дисперсной системы в наклонных и перекрестных каналах.

2. Исследована динамика дисперсной системы в условиях вынужденной и тепловой конвекции.

3. Изучено влияние угла наклона канала прямоугольного сечения на течение дисперсной системы.

4. Исследованы особенности течения дисперсных систем в крестообразном канале при наличии утечки жидкости.

5. Выполнен численный анализ заполняемости канала частицами диспергированной фазы в зависимости от утечки несущей фазы.

**Соответствие содержания диссертации специальности** обеспечивается пунктам:

3. Гидравлические модели и методы расчета течений в водоемах, технологических устройствах и энергетических установках.

4. Ламинарные и турбулентные течения.

7. Течения многофазных сред (газожидкостные потоки, пузырьковые среды, газовзвеси, аэрозоли, суспензии и эмульсии).

**Научная новизна** результатов работы определяется в первую очередь тем, что автором впервые была исследована математическая динамика дисперсной системы в сети пересекающихся каналов в зависимости от соотношения характерных чисел Рейнольдса для течения дисперсной системы и частиц

диспергированной фазы, а также соотношения длины основного и вторичного канала. Полученные численные решения позволили:

1. Решить задачу о расслоении системы в поле гравитационных сил при подогреве снизу с учетом тепловой конвекции жидкости в зависимости от параметров системы.

2. Развить двухфазную модель течения дисперсной среды в наклонно-направленных каналах в одножидкостном приближении в трехмерной постановке. Определить зависимость минимальной скорости закачки дисперсной системы в канал, при которой начинается заполнение канала диспергированной фазой, от угла наклона.

3. Исследовать динамику распределения твердых сферических частиц диспергированной фазы в системе пересекающихся каналов в зависимости от параметров дисперсной системы, а также от геометрических характеристик канала.

4. Провести анализ влияния пропускной способности торцов канала на эффективность его заполнения твердой фазой. Определить зависимости эффективности заполнения канала от параметров системы.

**Достоверность и обоснованность** полученных диссертантом теоретических выводов основана на применении фундаментальных законов термодинамики и механики сплошных сред, использованием апробированных численных методов, совпадением результатов расчетов с литературными и экспериментальными данными, а также подтверждается результатами математического моделирования, не противоречащими общим гидродинамическим и термодинамическим представлениям.

**Практическая значимость** результатов работы состоит в том, что полученные в диссертации результаты работы способствуют развитию теоретических представлений об особенностях течения дисперсных систем в каналах различной геометрии. Полученные решения позволяют определить оптимальные параметры, обеспечивающие эффективность расположения диспергированных частиц по длине канала, в том числе для усовершенствования и оптимизации технологии проведения ГРП.

С этой точки зрения тема и результаты диссертационной работы Юлмухаметовой Р.Р. являются актуальными и имеют научное и практическое значение.

**Оценка содержания диссертационной работы**

Диссертационная работа Юлмухаметовой Р. Р. состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы. Общий объем диссертации – 115 страниц, включая 47 рисунков и 144 литературных источника.

Во введении продемонстрирована актуальность выбранной темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследования.

В первой главе проведен обзор теоретических и экспериментальных работ, демонстрирующий изученность и направления исследований динамики течения дисперсных систем.

Во второй главе представлены результаты исследования течения малоцентрированных дисперсных систем в канале прямоугольного сечения с помощью методов математического моделирования. Проведено исследование динамики дисперсной системы в замкнутой емкости.

В третьей главе изучено распределение диспергированной фазы в потоке в плоском наклонном канале. Показано сравнение численных расчетов с экспериментальными данными. Определены условия, при которых возможно продвижение фронта частиц в зависимости от угла наклона канала. Проведено исследование динамики дисперсной системы в канале сложной геометрии, когда основной канал пересекает вторичный. В ходе исследования рассмотрены варианты, когда торцы основного и вторичного каналов проницаемы для дисперсионной среды, и когда основной канал закрытый. В обоих случаях торцы непроницаемы для частиц диспергированной фазы. Выполнены численные расчеты динамики распределения частиц диспергированной фазы в сети каналов в зависимости от соотношения характерных чисел Рейнольдса для течения и чисел Рейнольдса частиц, а также от соотношения длины основного и вторичного каналов. Проанализирован процесс заполнения каналов твердой фазой в зависимости от значений безразмерных параметров. Решение задачи в трехмерной постановке осуществлялось методом контрольного объема в программном комплексе OpenFOAM.

В заключении приведены результаты исследований.

Следует отметить, что все результаты вычислений физически обоснованы и проанализированы с позиций механики и термодинамики.

**Личный вклад соискателя** заключается в численной реализации моделей, проведении расчетов и оформлении результатов.

#### **Замечания**

В целом работа написана ясным и четким научным языком, на современном уровне, доказательно. Однако по работе есть отдельные вопросы, подлежащие обсуждению.

1. При описании математической модели процесса течения малоцентрированной дисперсной системы в плоском горизонтальном канале для скорости оседания частиц диспергированной фазы используется формула (2.1.4):

$$\vec{u}_{sed} = \frac{2}{9} r_0^2 \vec{g} \frac{(\rho_1 - \rho_2)(1 - C)^{4.7}}{\mu_2},$$

следует обосновать применение в модели этой формулы.

2. При записи начальных и граничных условий используются индексы: *atm, in, out, wall, Г, БГ и др.* значение которых следует пояснить.

3. При приведении системы уравнений математической модели процесса динамики малоцентрированной дисперсной системы в условиях тепловой конвекции к безразмерному виду желательно указать характерные масштабы.

4. В математической модели процесса динамики концентрированной дисперсной системы в плоском канале используются эмпирические коэффициенты и функции, следует пояснить модельные или физические обоснования их выбора.

Указанные замечания носят частный характер, не являются существенными и не снижают общей положительной оценки диссертационной работы.

#### **Общая оценка диссертационной работы**

Диссертационная работа Юлмухаметовой Регины Рафисовны «Математическое моделирование нестационарного течения дисперсных систем в плоских каналах различной геометрии» посвящена определению динамических характеристик течения дисперсной системы в наклонно-направленном и перекрестном каналах методами математического моделирования.

Актуальность, научная новизна и практическая значимость работы несомненны. Результаты диссертации сформулированы на современном научном уровне.

Диссертационная работа соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Приведенные выше замечания не снижают общих достоинств работы в целом и не носят принципиального характера.

Автореферат диссертации составлен с соблюдением установленных требований, дает полное и правильное представление о работе.

Результаты хорошо известны научной общественности. Основные положения проведенных исследований нашли отражение в 16 опубликованных научных трудах автора, соответствующих теме диссертации, в том числе в 2 ведущих рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК

Минобрнауки РФ, в 4 изданиях, входящих в международную систему цитирования Scopus, и в журнале, входящем в базу данных RSCI, получено 1 свидетельство о регистрации программы ЭВМ, неоднократно обсуждались на научных конференциях и получили одобрение ведущих специалистов.

Обобщая вышесказанное и учитывая новизну, теоретическую и практическую значимость выполненных исследований и их достоверность, считаю, что представленная к защите диссертационная работа «Математическое моделирование нестационарного течения дисперсных систем в плоских каналах различной геометрии» соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор Юлмухаметова Регина Рафисовна заслуживает присуждения ученой степени по специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы.

Я, Моисеева Елена Флоридовна, даю свое согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Юлмухаметовой Регины Рафисовны, и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент, доцент кафедры разработки и эксплуатации газовых и нефтегазоконденсатных месторождений Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет», кандидат физико-математических наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы, доцент

Моисеева Елена Флоридовна



«19» сентября 2023 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет»  
Адрес: 450064, г. Уфа, ул. Кольцевая, 9, корпус 4, ауд. 412

Тел.: (347) 242-09-16, e-mail: elena.f.moiseeva@gmail.com

Подпись Моисеевой Е.Ф. заверяю,  
начальник отдела по работе с персоналом  
ФГБОУ ВО УГНТУ



Дадаян О.А.

«19» сентября 2023 г.