

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель
Федерального государственного
бюджетного научного учреждения
Уфимского федерального
исследовательского центра
Российской академии наук


В.Б. Мартыненко
« 7 » сентября 20 23 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу **Регины Рафисовны Юлмухаметовой «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.

Актуальность темы исследования определяется большим спектром возможных применений суспензий и эмульсий во многих отраслях и современных производствах. Ярким примером такого применения представляется гидравлический разрыв пласта (ГРП), который на сегодняшний день является одним из ключевых технологий увеличения нефтедобычи. Анализа современной научно-технической и патентной литературы позволяет заключить, что нет достаточной достоверной информации, которая могла бы снять все вопросы по проведению ГРП. Любые дополнительные материалы, будь то лабораторные исследования или результаты моделирования, будут актуальны при разработке ГРП.

Существующие методы расчёта не в достаточной степени учитывают сложность общей гидродинамической картины течения суспензий и эмульсий в каналах различной геометрии. Разработка новых математических моделей и подходов к расчету течений дисперсных сред в каналах является важным шагом в понимании механизмов осаждения и миграции дисперсной фазы по длине канала с целью оптимизации технологических и конструктивных параметров и исключения дорогостоящих экспериментальных исследований.

Основной **целью** работы является исследование течения дисперсных систем в каналах различной геометрии в условиях естественной и вынужденной конвекции.

Научная новизна работы диссертационной работы на наш взгляд заключается в следующем:

- формулировка математической модели течения малоцентрированной дисперсной системы с учетом относительного движения фаз, вызванного гравитационными силами;
- формулировка математической модели тепловой конвекции дисперсной системы в одножидкостном приближении;
- численная реализация двухфазной модели течения дисперсной среды в наклонно-направленных каналах в одножидкостном приближении в трехмерной постановке;
- исследование динамики распределения твердых сферических частиц диспергированной фазы в системе пересекающихся каналов в зависимости от параметров дисперсной системы, а также от геометрических характеристик канала;
- анализ влияния пропускной способности торцов канала на эффективность его заполнения твердой фазой.

Научная и практическая значимость результатов диссертационных исследований заключается в широком применении полученных результатов в современных производствах. Полученные результаты расширяют и дополняют знания в области течений дисперсных систем в каналах различной геометрии. Приведенные в работе математические модели могут быть использованы для повышения качества проведения ГРП. Большая часть выводов, приведенных в диссертации, имеют практическую направленность

Степень достоверности результатов исследования диссертационной работы соответствует общепринятой в рамках специальностей 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы. Гарантируется корректным использованием современных научных положений гидро- и газодинамики в процессе построения математической модели; применением фундаментальных законов термодинамики и механики сплошных сред, использованием апробированных численных методов, а также подтверждается результатами математического моделирования, не противоречащими общим гидродинамическим и термодинамическим представлениям.

Основное содержание диссертации изложено на 115 страницах, включает введение, три главы, заключение, список литературы, состоящий из 144 источников, содержит 47 рисунков.

Во **введении** обоснована актуальность, научная новизна, достоверность результатов, практическая значимость, личный вклад автора диссертации. Поставлена цель исследования, перечислены методы исследования, апробация, публикации, основные положения, выносимые на защиту, изложено содержание разделов работы.

В *первой главе* выполнен анализ литературных данных, освещающих современные проблемы в рассматриваемой области, обзор теоретических и экспериментальных работ, посвященных исследованию динамики течения дисперсных сред. Подробно рассмотрены основные теоретические подходы к решению рассматриваемых задач.

Во *второй главе* представлены результаты исследования динамики дисперсной системы в условиях вынужденной и тепловой конвекции. Записана математическая модель в одножидкостном приближении и на основе нее проведены численные расчеты. В результате численного моделирования, показано, что тепловая конвекция приводит к искажению изотерм, и не только ускоряет расслоение дисперсной системы за счет уменьшения вязкости окружающей среды, но также может оказать негативное влияние.

В *третьей главе* исследовано распределение диспергированной фазы в потоке в каналах разной геометрии: горизонтальный, наклонно-направленный и пересекающиеся. Сформулирована математическая модель течения дисперсных систем. произведено сравнение численных расчетов с экспериментальными данными. Определены условия, при которых возможно продвижение фронта частиц в зависимости от угла наклона канала.

В конце каждой главы приведены краткие выводы.

В *заключении* представлены основные выводы по работе.

По диссертации имеется ряд **вопросов и замечаний**:

1. Для оценки вклада конвективного теплообмена в процесс динамики расслоения дисперсной системы при контактном нагреве желательного привести интегральные характеристики, например, интенсивность теплообмена.

2. Задача динамики малоцентрированной дисперсной системы в условиях тепловой конвекции решалась численно методом контрольного объема в программном комплексе OpenFOAM. Валидация программного кода проводилась на результатах из литературных источников и приводится источник: Гершуни Г.З., Жуховицкий Е.М. Конвективная устойчивость несжимаемой жидкости. М.: Наука, 1972. 392 с. Однако в работе не указано, как именно проводилась верификация кода. Для верификации программного кода, при решении задач тепловой конвекции, принято использовать эталонные решения («benchmark solutions»), например, в выбранной геометрии работу Quere P. Le, Roquefort T.A. De. Computation of natural convection in two dimensional cavities with Chebyshev polynomials // J. Comput. Phys. 1985. Vol. 57, № 2. P. 210-227.

3. В расчётах с использованием схемы «закрытого основного канала» в разделе 3.3 получен результат, свидетельствующий о том, что частицы «диспергированной фазы» проникают на значительную глубину в область основного канала (Рис. 3.3.4. и Рис. 3.3.5). Представленное

автором объяснение на с.90 не отвечает на возникающий вопрос о механизме такого проникновения.

4. На рис. 3.1.2, б – 3.1.5, б концентрация частиц на границах области по данным математического моделирования отклоняется от экспериментальных точек. Этот результат требует объяснения.

5. В соответствии с анализом результатов, представленных на рис. 3.1.2 – 3.1.5, автор на с.65 делает вывод: «Во всех случаях наблюдается миграция частиц диспергированной фазы от стенок к центру». Что означает формирование картины распределения диспергированной фазы симметричной относительно центра канала. Данный результат получен при нулевом угле наклона. Однако, уже на рис. 3.2.2 б видим совершенно иную картину. На этом рисунке диспергированная фаза оседает на нижней стенке и имеет несимметричное распределение концентрации частиц по сечению канала. С чем связано такое различие результатов при одинаковых постановках?

6. В тексте диссертации и автореферате есть ряд неточностей и опечаток (С. 12, 34, 35, 64, 79, 94, 97 и т.д.).

Сделанные замечания существенно не сказываются на общей положительной оценке результатов работы, содержащей научно-обоснованные данные, позволяющие решить важные задачи по совершенствованию процесса ГРП.

Полученные автором результаты имеют большое и актуальное прикладное значение и могут быть востребованы на предприятиях нефтедобывающей промышленности и смежных с ней отраслях производства.

Все выносимые на защиту положения и выводы аргументированы и соответствуют поставленным задачам.

Заключение по диссертационной работе.

Диссертационная работа Юлмухаметовой Р.Р. выполнена на хорошем научном уровне. Исследование выполнено на актуальную тему, представляет теоретический и практический интерес. Материалы диссертационной работы докладывались на международных и российских научных конференциях. По материалам диссертации опубликовано 16 работ в российских и зарубежных изданиях, в том числе 4 научные статьи в рецензируемых научных изданиях, входящих в международную реферативную базу данных Scopus, 1 статья в журнале, входящем в базу данных RSCI, 2 научные статьи в журналах из перечня ВАК и 9 статей в изданиях, входящих в РИНЦ.

Материалы диссертации характеризуют автора как сложившегося исследователя, владеющего современными научными методами.

По своему содержанию диссертационная работа Р.Р. Юлмухаметовой соответствует паспорту научной специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы.

Исследование выполнено в соответствии с пунктами паспорта специальности:

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).

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

По актуальности, новизне, практической значимости диссертация соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842 (с изменениями и дополнениями), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор **Юлмухаметова Регина Рафисовна заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы.**

Диссертационная работа Юлмухаметовой Р.Р. обсуждалась на ученом совете Института механики им. Р.Р. Мавлютова – обособленного структурного подразделения Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (протокол № 5 от 07.09.2023 года).

И.о. директора, старший научный сотрудник
лаборатории механики многофазных
систем ИМех УФИЦ РАН, кандидат
физико-математических наук (01.02.05 –
Механика жидкости, газа и плазмы)

М.Н. Галимзянов

Старший научный сотрудник
лаборатории механики многофазных
систем ИМех УФИЦ РАН, кандидат
физико-математических наук (01.02.05 –
Механика жидкости, газа и плазмы)

У.О. Агишева

Подписи М.Н. Галимзянова,
У.О. Агишевой заверяю.
Ученый секретарь ИМех УФИЦ РАН



Э.Ф. Гайнуллина

Институт механики им. Р.Р. Мавлютова — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИМех УФИЦ РАН)

Адрес: Россия, 450054, г. Уфа, Проспект Октября, 71

тел.: +7 (347) 235-52-55, e-mail: imran@anrb.ru