



Минобрнауки России
Федеральное государственное учреждение
«Федеральный исследовательский центр
Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша
Российской академии наук»
(ИПМ им. М.В. Келдыша РАН)

125047, Москва, Миусская пл., 4 Тел. 8 (499) 220-72-33 Факс 8 (499) 972-07-37
http://keldysh.ru e-mail: office@keldysh.ru
ОКПО 02699381 ОГРН 1037739115787 ИНН/КПП 7710063939/771001001

15.02.22 № 11103- 9422 / 172-К

На № 334 / 10 - 113 от 11.02.22

«УТВЕРЖДАЮ»
Директор ИПМ им.М.В.Келдыша РАН
Член-корреспондент РАН
А.И.Аптекарев
20 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Прокопьева Сергея Анатольевича «Моделирование одно- и двухфазных течений бинарных и трехкомпонентных жидких сред», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – Механика жидкости, газа и плазмы

Диссертационная работа Прокопьева С. А. посвящена исследованию гидродинамических процессов, протекающих в двухфазных гетерогенных системах и в многокомпонентных гомогенных средах. Основное содержание диссертации составляет изучение следующих явлений:

- вытеснение одной жидкости другой в одиночном капилляре в случае смешивающихся и несмешивающихся жидкостей; исследование динамики вытеснения в матрице связанных между собой капилляров;
- развитие неустойчивости Рэлея-Тейлора в условиях, когда в начальный момент времени рассматриваемые жидкости не находятся в состоянии термодинамического равновесия;
- термоконцентрационная конвекция в трехкомпонентных средах.

Актуальность диссертационной работы определяется самим выбором рассматриваемых задач. Капиллярные явления широко распространены в природе и играют важную роль в технике. В последнее время особый интерес к этим явлениям связан с изучением процессов, протекающих в нефтяных пластах. Математическое моделирование многофазных явлений в пористых средах приобретает все большую роль в разработке эффективных методов нефтедобычи.

Неустойчивость Рэлей-Тейлора, так же как и процессы протекающие в капиллярах, исследуются с помощью метода фазового поля. Особое внимание уделяется изучению межфазной диффузии, возникающей в условиях термодинамической неустойчивости исходного состояния. Полученные результаты способствуют более глубокому пониманию процессов, протекающих в реальных условиях, например при изучении астрофизических объектов или неустойчивости плазмы в термоядерных установках.

Исследование конвективного тепло-массопереноса при наличии эффекта Соре инициировано экспериментом DCMIX-2, проведенном на международной космической станции и проводилось в рамках работ по анализу и интерпретации результатов космического эксперимента.

Содержание работы. Диссертация состоит из введения, двух глав, заключения, списка литературы и приложения. В каждой из глав содержится обзор литературы, относящейся к содержанию данной главы. Работа представлена на 210 страницах, список литературы содержит 195 наименований.

Во введении отражены актуальность и степень разработки темы исследования, цели работы, методы исследования, научная новизна полученных результатов, их практическая и теоретическая значимость; определены положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена моделированию гетерогенных двухфазных систем методом фазового поля. В ней дается подробное описание указанного метода, обосновывается целесообразность его применения для изучения капиллярных явлений и неустойчивости Рэлей-Тейлора, приводится описание и анализ результатов численного исследования этих задач.

Во второй главе исследуется конвекция трехкомпонентных смесей с эффектом Соре. Сначала изучается устойчивость и надкритические режимы конвекции при условии заданного теплового потока, а затем анализируются экспериментальные данные по измерению коэффициента Соре, полученные на борту международной космической станции.

В заключении сформулированы основные результаты диссертации.

В приложении описан параллельный алгоритм и комплекс программ на графических процессорах, разработанный автором для решения рассмотренных в диссертации задач.

Новизна и практическая значимость. В работе получен ряд новых результатов, имеющих теоретическое и практическое значение. Впервые проведено моделирование вытеснения одной жидкости другой в матрицах капилляров, в которых характеристики сходятся к некоторым предельным значениям. Предложена формула для оценки капиллярного давления в матрице капилляров. В рамках модели фазового поля исследовано развитие неустойчивости Рэлей-Тейлора в изотермической гетерогенной системе двух смешивающихся жидкостей, исходное состояние которых термодинамически неустойчиво, что приводит к возникновению межфазной диффузии. Исследованы нелинейные режимы конвекции трехкомпонентных смесей с эффектом Соре в плоском горизонтальном слое с заданным тепловым потоком на границах. Совместный анализ результатов расчетов и экспериментальных

данных позволил интерпретировать результаты космических экспериментов по определению термодиффузионных коэффициентов. Практически важным результатом является также создание параллельного алгоритма расчета на графических процессорах и его программная реализация. Приведенные тесты производительности свидетельствуют о высокой эффективности разработанного комплекса программ.

Достоверность результатов обеспечивается сравнением, там где это возможно, с результатами теоретических исследований и данными натурных экспериментов. В ряде случаев был проведен анализ сходимости результатов при измельчении шагов разностной сетки.

Результаты диссертации докладывались на многочисленных конференциях, изложены в 22 работах, включая 8 работ в журналах из списка ВАК, которые также индексируются в международных базах данных Scopus и Web of Science.

Замечания по диссертационной работе. К сожалению, автор в своих исследованиях использует разностные схемы сравнительно невысокого качества. Большое сомнение вызывает выполнение законов сохранения энергии, массы, завихренности в разностной задаче. Аппроксимация граничных условий, описанная в приложении, не согласована с аппроксимацией уравнений во внутренних узлах сетки, что неизбежно приводит к снижению точности алгоритма. Избежать серьезных ошибок при использовании таких алгоритмов, автору удастся только благодаря проведению расчетов на подробных сетках. Однако в областях большего размера или в трехмерных расчетах избежать заметного искажения решения будет значительно сложнее. Приведенные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы.

Результаты, полученные С.А.Прокопьевым, могут быть использованы в Институте прикладной математики им.М.В.Келдыша РАН, Институте проблем механики им. А.Ю.Ишлинского, НИИ механики МГУ им.М.В.Ломоносова, МГТУ им.Н.Э.Баумана.

Заключение ведущей организации. Диссертационная работа С.А.Прокопьева является законченным научным исследованием, содержащим новые результаты области математического моделирования гидродинамических процессов в многокомпонентных средах. Задачи, решаемые в работе, являются актуальными, обладают научной новизной и практической значимостью.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертационной работы.

Диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к диссертациям, выполненным по специальности 1.1.9 – Механика жидкости, газа и плазмы и соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения искомой ученой степени.

Отзыв ведущей организации на диссертацию С.А.Прокопьева обсужден 14 февраля 2022 года на заседании научного семинара "Вычислительные методы и математическое моделирование" им. Ю.П. Попова под руководством проф. М.П. Галанина и проф. В.М. Чечёткина, протокол заседания №262.

Отзыв составлен доктором физико-математических наук по специальности 05.13.18, ведущим научным сотрудником отд.№11
Мажоровой Ольгой Семеновной

Главный научный сотрудник, и.о.заведующий отделом №11,
доктор физико-математических наук
Галанин Михаил Павлович

Полное название организации:

Федерального государственного учреждения
"Федеральный исследовательский центр
Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша
Российской академии наук"
125047, Москва, Миусская пл., д.4, <http://www.keldysh.ru/>, +7 499 978-13-14

Подпись О.С.Мажоровой заверяю
Ученый секретарь ИПМ им.М.В.Келдыша
Кандидат физ.-мат.наук
Давыдов А.А.