ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Шубенкова Ивана Сергеевича
«Конвекция одно- и многокомпонентных жидкостей в пористых слоях»,
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 - «Механика жидкости, газа и плазмы»

Тема диссертационной работы И.С. Шубенкова посвящена актуальной проблеме гидродинамики – исследованию конвективных процессов в пористых средах, насыщенных одно- и многокомпонентными жидкостями. Актуальность работы не вызывает сомнений, поскольку данные процессы лежат в основе множества природных и технологических явлений: от миграции углеводородов в геологических пластах и эксплуатации геотермальных резервуаров до разделения смесей в термодиффузионных колоннах и обеспечения безопасности хранилищ радиоактивных отходов. Переход к исследованию трёхкомпонентных смесей и сложных геометрий (наклонные слои, складки) является своевременным шагом, восполняющим существующие пробелы в научной литературе.

Диссертационная работа Шубенкова Ивана Сергеевича посвящена теоретическому исследованию условий устойчивости механического равновесия и нелинейных режимов конвекции одно- и многокомпонентных жидкостей в горизонтальном и наклонном пористых слоях при вертикальном градиенте температуры. Актуальность и научная значимость работы обусловлена широким спектром практических применений теории конвективной устойчивости, в частности при моделировании фильтрации подземных вод, эксплуатации геотермальных резервуаров, добыче углеводородов и т.д.

В диссертационной работе использовался широкий спектр методов исследования: линейный анализ устойчивости механического равновесия, прямого численное моделирование конвективного течения на основе полных уравнений Навье-Стокса. Это позволило довольно подробно изучить пространственную структуру и интенсивность возникающих конвективных режимов.

Автореферат позволяет составить целостное представление о структуре и содержании работы. Диссертация состоит из введения, трёх глав и заключения. В первой главе автором обнаружена длинноволновая мода колебательной неустойчивости трёхкомпонентной смеси с эффектом Соре в горизонтальном пористом слое, а также детально исследовано влияние высокочастотных вибраций на конвекцию. Во второй главе проведен анализ трёхмерных конвективных структур в наклонном пористом слое. Третья глава посвящена прямому численному моделированию конвекции бинарных смесей в трёхслойных пористых системах, имитирующих антиклинальные и синклинальные геологические складки.

Научная новизна работы подтверждена полученными автором оригинальными результатами:

1. Впервые выявлена длинноволновая мода колебательной неустойчивости для трёхкомпонентной смеси и определены параметры, при которых она является наиболее опасной.

2. Установлено влияние вибраций на границы перехода между длинноволновыми и ячеистыми модами.

3. Доказано, что кризис механического равновесия наклонного слоя во всем диапазоне углов наклона обусловлен трёхмерными возмущениями в виде продольных валов, а траектории частиц в них представляют собой эллипсы.

4. Определены условия возникновения конвекции и структура течений в геологических складках.

Достоверность и обоснованность результатов не вызывают сомнений. Автором использован широкий арсенал методов: аналитические выкладки, метод стрельбы для линейного анализа, метод конечных разностей, а также вычислительный пакет Ansys Fluent (метод конечных объёмов). Результаты расчетов верифицированы путем сравнения с предельными случаями, аналитическими формулами и данными других авторов. Работа прошла хорошую апробацию: результаты доложены на множестве всероссийских и международных конференций, а по теме диссертации опубликовано 6 работ в изданиях из списка ВАК (5 из них индексируются в Scopus и Web of Science).Содержание работы соответствует паспорту специальности 1.1.9 - «Механика жидкости, газа и плазмы».

Вместе с тем, при знакомстве с авторефератом возникли следующие вопросы и замечания:

1. Терминология: На стр. 8 автореферата используется термин «аномальная термодиффузия», а на стр. 10 – «анормальная термодиффузия» при описании одного и того же физического процесса. Желательно было бы придерживаться единой терминологии.

2. Сравнение с экспериментом: В описании первой главы диссертации упоминается, что смесь углеводородов (додекан, изобутилбензол, тетралин) использовалась в серии экспериментов DCMIX на МКС. Однако в автореферате не отражено, проводилось ли прямое количественное сопоставление полученных критических чисел Рэлея или частот колебаний с экспериментальными данными DCMIX, хотя такие данные могли бы усилить практическую значимость работы.

3. Геометрия и параметры в Главе 3: При моделировании геологических складок (стр. 16) автором выбраны фиксированные размеры области (L=200 м, B=100 м) и строго определенный градиент температуры ($A = 3 \cdot 10^{-2}$ К/м). Хотелось бы уточнить, насколько качественно изменятся структуры конвективных валов при существенном отклонении этих параметров от выбранных, и проводилась ли оценка чувствительности модели к этим параметрам.

Данные замечания не снижают общего положительного впечатления от работы. Содержание автореферата позволяет сделать вывод о том, что диссертационное исследование Шубенкова Ивана Сергеевича «Конвекция одно- и многокомпонентных жидкостей в пористых слоях» является самостоятельным, логическим, обоснованным и завершённым исследованием в области механики жидкости и газа. В работе представлены

результаты, вносящие существенный вклад в развитие знаний в области фундаментальной механики жидкости, гидродинамики и тепломассопереноса в пористой среде, а также расширяющие понимание конвективных процессов многокомпонентных жидкостей под действием гравитационного и вибрационного полей. Автореферат отвечает требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», а автор диссертации Шубенков Иван Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 - «Механика жидкости, газа и плазмы».

Кандидат физико-математических наук (специальность – Механика жидкости, газа и плазмы), доцент, доцент кафедры Теоретической физики, Физико-Математического института Пермского государственного национального исследовательского университета

Марышев Борис Сергеевич

Адрес: 614990, Россия, Пермь ул. Букирева 15, ПГНИУ
Телефон: 8(919)459-83-015 (сот.)
E-mail: bmaryshev@mail.ru

«12» ноября 2026 года

Я, Марышев Борис Сергеевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

Подпись Марышева Бориса Сергеевича заверяю:

Собственноручную подпись
Марышева Б.С.
удостоверяю
Работник отдела кадров
Ситнова Б.М.
12.11.2026