

Отзыв официального оппонента
на диссертационную работу Загвозкина Тимофея Николаевича
*Неустойчивости и нелинейные режимы течения в гетерогенных средах при наличии
внешнего потока,*
представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по специальности
1.1.9 – Механика жидкости, газа и плазмы

Диссертационная работа Загвозкина Т. Н. посвящено численному исследованию многофазных гидродинамических сред. Рассматриваются несколько задач: возникновение неустойчивостей Кельвина – Гельмгольца и Холмбое на границе смешивающихся жидкостей с учетом конечного поверхностного натяжения; всплытие капли в системе смешивающихся жидкостей при наличии или отсутствии сил поверхностного натяжения на поверхности капли; тепловая конвекция в насыщенном жидкостью горизонтальном слое пористой среды при наличии неоднородного потока тепла на границах и прокачивания жидкости вдоль слоя.

Решение задачи о возникновении неустойчивостей Кельвина – Гельмгольца и Холмбое на границе смешивающихся жидкостей проводилось методом фазового поля. Данный метод уникален тем, что позволяет моделировать поверхностное натяжение на границе смешивающихся жидкостей. Результаты исследований показали, что границы переходов между областями устойчивости и неустойчивости к появлению волн Кельвина – Гельмгольца или волн Холмбое существенным образом зависят от наличия/отсутствия поверхностного натяжения на межфазной границе. Задача о всплывающей капле в системе смешивающихся жидкостей также решалась методом фазового поля. Рассмотрены случаи, когда поверхностное натяжение отсутствует, очень велико и имеет относительно небольшую величину. Результаты расчетов в предельных случаях хорошо согласуются с известными данными. Показано, что при наличии конечного поверхностного натяжения его влияние на динамику всплывающей капли более существенное, чем межфазная диффузия, приводящая к растворению капли. Тепловая конвекция в насыщенном жидкостью горизонтальном слое пористой среды при наличии неоднородного потока тепла и прокачивания жидкости была исследована в широком диапазоне чисел Пекле (различных скоростях прокачивания). Обнаружены три существенно различных режима: стационарное конвективное течение, осциллирующее локализованное течение и однородная прокачка жидкости, наблюдающаяся при полном вымывании конвективных структур из области их возбуждения.

Актуальность. Изучение неоднородных по составу гидродинамических сред безусловно является актуальной для современной гидромеханики. При взаимодействии разнородных жидкостей возникают условия для развития неустойчивостей различной природы (Рэлея – Тейлора, Кельвина – Гельмгольца и др.), которые существенным образом обогащают спектр наблюдаемых в естественных условиях и технике гидродинамических эффектов. В условиях, когда контактирующие жидкости смешиваются, на развитие неустойчивостей влияет изменение физических условий на межфазной границе, в том числе динамика толщины межфазной границы, поверхностного натяжения и др. Интерес исследователей к изучению тепловой конвекции в пористых средах обусловлен прикладным характером получаемых результатов, которые могут быть применены к

описанию процессов, наблюдаемых при добыче углеводородов, фильтрации жидкостей и др.

Структура диссертации. Диссертация состоит из введения, 2 глав, заключения, списка литературы (138 наименований). Объем диссертации составляет 102 страницы, включая 38 рисунков.

Во введении дается обоснование научной и практической значимости исследования, а также формулируются цели и задачи работы. Изложены защищаемые научные положения.

Первая глава посвящена исследованию динамики границы раздела в двухфазных системах смешивающихся жидкостей методом фазового поля на примере решения следующих задач: 1) исследование возникновения и нелинейного развития неустойчивостей Кельвина-Гельмгольца и Холмбое с учетом влияния межфазных напряжений и нефиковских диффузионных эффектов; 2) изучение всплытия капель, смешивающихся с окружающей жидкостью при различных значениях сил поверхностного натяжения. В начале первой главы также приведено описание теории фазового поля с обоснованием ее преимуществ по сравнению с другими подходами описания многофазных систем. При решении первой задачи показано, что неустойчивость Кельвина-Гельмгольца сопровождается образованием вихря в середине переходного слоя, при этом положение вихря не меняется со временем, а кинетическая энергия движения монотонно увеличивается. Напротив, развитие неустойчивости Холмбое проявляется себя в появлении бегущих волн на границе жидкостей, при этом кинетическая энергия увеличивается колебательным образом. В отсутствие сил поверхностного натяжения на межфазной границе области существования неустойчивостей Кельвина – Гельмгольца и Холмбое смыкаются. Когда поверхностные эффекты становятся заметными, между указанными областями наблюдается зона устойчивости. При решении второй задачи методом фазового поля показано, что при конечных значениях коэффициента поверхностного натяжения в системе смешивающихся жидкостей всплывающая капля принимает форму кольца, при этом поверхностное натяжение играет определяющую роль в динамике капли, являясь более существенным фактором, чем межфазная диффузия.

Вторая глава посвящена исследованию тепловой конвекции в слое пористой среды, насыщенной вязкой несжимаемой жидкостью. В первом разделе главы приводятся результаты линейного анализа возникновения конвекции в горизонтальном слое пористой среды, насыщенной жидкостью, при наличии неоднородного потока тепла на границах и прокачивания жидкости вдоль слоя. Обнаружены монотонная и колебательная неустойчивость основного состояния. Показано, что границы монотонной и колебательной неустойчивости на плоскости скорость - длина области возбуждения имеют колоколообразную форму, при этом граница монотонной неустойчивости располагается ниже границы колебательной неустойчивости. Во втором разделе главы численно исследованы двумерные нелинейные режимы конвекции. Найдено, что при малых числах Пекле наблюдается устойчивое локализованное стационарное конвективное течение. При промежуточных числах Пекле реализуется осциллирующее локализованное течение. При больших числах Пекле локализованные конвективные структуры полностью вымываются из области их возбуждения и наблюдается режим однородного прокачивания жидкости.

Обоснованность и достоверность результатов и выводов диссертации. Изложенные автором научные положения и выводы достаточно ясно сформулированы и

полностью обоснованы. Достоверность результатов численных расчетов обеспечена хорошим соответствием полученных данных аналитическим формулам и результатам физических экспериментов, анализом сходимости полученных данных при изменении шага расчетной сетки, а также согласием результатов, полученных с использованием различных численных методов.

Новизна исследований и полученных результатов. С помощью использованного автором метода фазового поля с учетом капиллярных эффектов исследованы неустойчивости Кельвина-Гельмгольца и Холмбое в системах смешивающихся жидкостей, не находящихся в начальный момент времени в термодинамическом равновесии. Обнаружено, что усиление капиллярных эффектов приводит к появлению области устойчивости между областями неустойчивости Кельвина-Гельмгольца и Холмбое.

Проведено прямое численное моделирование подъема капли в другой жидкости, смешивающейся с первой. Показано, что метод фазового поля позволяет моделировать поверхностные эффекты на границе раздела смешивающихся жидкостей, что не удается с помощью других методов. Обнаружено, что при конечном поверхностном натяжении оно играет определяющую роль в динамике капли, являясь более существенным фактором, чем межфазная диффузия.

Исследовано вымывание локализованных конвективных структур в горизонтальном слое насыщенной жидкостью пористой среды при наличии неоднородного потока тепла на границах и прокачивания жидкости вдоль слоя. Показано, что при повышении разности значений теплового потока в области локального максимума нагрева и вне ее критическое значение скорости, необходимой для вымывания конвективных структур, увеличивается.

Практическая и теоретическая значимость полученных результатов. Полученные в первой главе данные о развитии неустойчивостей Кельвина-Гельмгольца и Холмбое могут быть использованы в практических приложениях, связанных со смешиванием в системах жидкость/жидкость или газ/жидкость. Движение капель в системах смешивающихся жидкостей за счет сил плавучести представляет практический интерес с точки зрения разработки новых эффективных методов обогащения полезных ископаемых. Результаты изучения процессов вымывания локализованных конвективных структур в пористой среде могут иметь практическое значение для процессов вытеснения одной жидкости другой, что, например, встречается при добыче углеводородов путем их прокачки водой.

Автореферат в достаточной степени отражает содержание диссертации.

Апробация результатов. Результаты исследований докладывались на многочисленных всероссийских и международных научных конференциях и семинарах.

Публикации. Материалы диссертации изложены в 13 работах, в том числе в 4 работах в журналах из списка ВАК, которые также индексируются в международных базах данных Scopus и Web of Science.

Достоинства и недостатки в содержании и оформлении диссертации. Диссертация Загвозкина Т. Н. представляет собой хорошо структурированный законченный научный труд, имеющий ценность для научного сообщества и перспективу применения в технологических приложениях. В то же время к тексту работы имеются замечания:

1. На стр. 18 впервые появляется безразмерный параметр – число Кана, в состав которого входит параметр ϵ , физический смысл которого в диссертации не объяснен.

2. При обсуждении неустойчивостей Кельвина – Гельмгольца и Холмбое автор обращает особое внимание на то, что при учете сил поверхностного натяжения между указанными неустойчивостями возникает область, внутри которой сдвиговый поток невозмущенный. В то же время на рис. 1.11а показано, что такая же область устойчивости существует для ограниченного диапазона волновых чисел и в случае, когда поверхностное натяжение считается нулевым. В чем тогда заключается новизна полученных автором результатов?

3. В тексте диссертации отсутствует определение параметра M , характеризующего величину поверхностного натяжения на границе всплывающей капли и окружающей жидкости. В том числе из-за этого трудно понять, каким образом можно объяснить более быстрое всплытие капель в случае смешивающихся жидкостей по сравнению со случаем несмешивающихся (рис. 1.19 с).

4. В задаче о прокачке жидкости через горизонтальный слой пористой среды с подогревом результаты исследования монотонной неустойчивости приведены на рис. 2.2 – 2.4. При обсуждении представленных результатов остается непонятным выбор длины области возбуждения L от 0 до 10. Что произойдет, если увеличить L ? Автор недостаточно подробно объясняет, почему на картах устойчивости изменяется количество «колоколов».

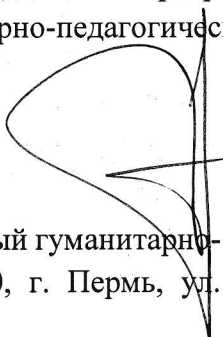
5. Текст диссертации содержит неточности и опечатки, характерные для подобного рода работ. Текст мог бы стать лучше, если бы автор был более внимателен к точности описания вновь вводимых физических параметров.

Отмеченные недостатки не снижают общей высокой оценки диссертационной работы.

Общее заключение. Диссертация «Неустойчивости и нелинейные режимы течения в гетерогенных средах при наличии внешнего потока», представленная на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, является завершённой научно-квалификационной работой и удовлетворяет требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г., предъявляемым к диссертациям на соискание степени кандидата наук, а ее автор, Загвозкин Тимофей Николаевич, заслуживает присвоения степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – Механика жидкости, газа и плазмы.

Официальный оппонент,

кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики и технологии ФГБОУ ВО «Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет»



Полежаев Денис Александрович
25.10.2022

ФГБОУ ВО «Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет», 614990, г. Пермь, ул. Сибирская, 24
e-mail: polezhaev@pspu.ru, +7 919 7 100 101

Подпись Полежаева Д.А. заверяю
Уполномоченный секретарь Е.Е. Грамматика
25.10.2022г.

