

**ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертационную работу Мошевой Елены Александровны
«Конвективные процессы в зоне смешивания реагирующих жидкостей»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук по специальности 01.02.05 – «Механика жидкости,
газа и плазмы».**

Диссертация Мошевой Е.А. посвящена экспериментальному исследованию конвективного течения, возникающего в двухслойной системе смешивающихся жидкостей в условиях протекания фронтальной реакции нейтрализации в ячейке Хеле-Шоу. В задачах химической гидродинамики смешивающихся жидкостей существует целый спектр неустойчивостей основного течения, которые сильно зависят от свойств компонентов. Понимание механизмов процессов, происходящих в таких системах, является основой для разработки новых эффективных методов управления скоростью протекания химических реакций. Сказанное определяет **актуальность работы**.

Содержание диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка цитируемой литературы из 163 наименований и приложения. Общий объем диссертации – 149 страниц, включая 62 рисунка и 6 таблиц.

В Введении реферативно излагается основное содержание глав диссертации, перечисляются основные результаты, выносимые автором на защиту; обсуждается актуальность, научная новизна и практическая ценность работы, кроме того приводится список конференций, на которых докладывались результаты исследований.

В первой главе приведен обзор литературы по современному состоянию проблемы, посвящённой исследованию хемоконвективного движения, обусловленного взаимодействием диффузионных процессов и химических реакций различного типа. Показано место диссертационного исследования среди работ других авторов.

Вторая и третья главы посвящены описанию проводимых экспериментальных исследований.

Вторая глава посвящена экспериментальному исследованию конвективной устойчивости двухслойной системы смешивающихся жидкостей в вертикальной ячейке Хеле-Шоу в условиях фронтальной реакции нейтрализации. Обнаружено, что массоперенос вблизи реакционного фронта, в зависимости от величины начальных концентраций исходных реагентов, может быть либо конвективно-управляемым, либо диффузионно-управляемым. На основе разработанной физической модели получены карты различных режимов протекания реакций. Обнаружено, что в диффузионном режиме наблюдается возникновение слабого конвективного движения, что связано с развитием неустойчивости двойной диффузии. При этом фронт

реакции распространяется со временем по корневому закону, что говорит о том, что диффузионный механизм массопереноса доминирует. Обнаружен новый тип неустойчивости, для которого характерна пространственная локализация конвективных структур, что в системах смешивающихся жидкостей наблюдается впервые. Показано, что механизм возникновения конвективных ячеек связан с зависимостью диффузии реагентов и продукта реакции от их концентрации. В следующем разделе подробно исследован конвективный режим протекания реакции, в котором основные характеристики реакции скачкообразно изменяются при переходе через реакционную зону.

В третьей главе экспериментально исследуется устойчивость концентрационного адвективного течения в горизонтальном канале при взаимном вытеснении двух смешивающихся жидкостей. Первоначально рассматривается случай, когда только один слой содержит растворенное вещество, а второй слой образуется водой. Обнаружено, что при увеличении начальной разности плотностей между слоями вблизи верхней и нижней границы слоя возникают спиральные структуры, вытянутые вдоль потока. Показано, что механизм формирования структур обусловлен неустойчивостью Рэлея – Тэйлора на фоне адвективного течения, при этом её порог определяется концентрационным числом Пекле. Далее рассматривается случай, когда в обоих слоях растворены разные вещества. Обнаружено, что различная скорость диффузии веществ индуцирует неустойчивость двойной диффузии, которая может подавлять обнаруженную ранее спиральную моду неустойчивости. Наконец исследуется двухслойная система смешивающихся жидкостей при наличии реакции нейтрализации. Обнаружено, что в диффузионном режиме химическая реакция нарушает симметрию течения по разные стороны от фронта реакции. В конвективном режиме протекания реакции адвективное течение не возникает.

В заключении представлены основные результаты и выводы диссертации.

В приложении описана методика проведения экспериментов и результаты измерения коэффициентов диффузии.

Общее впечатление после прочтения диссертации очень положительное. Работа написана научным языком и хорошо проиллюстрирована. Основные результаты опубликованы в ведущих журналах по механике жидкости (Phys. Rev. E, Phys. Rev. Fluids, Fluid Dynamics Research и др.). Благодаря рассмотрению целого ряда разнообразных экспериментальных ситуаций и варьированию большого количества параметров, были обнаружены **новые интересные явления**:

1. Обнаружен новый тип неустойчивости семейства двойной диффузии, характеризующийся пространственной локализацией и периодичностью возникающих конвективных структур;

2. Обнаружен новый тип неустойчивости, характеризующийся аномально быстрым движением фронта реакции и формированием волны плотности ударного типа;
3. Обнаружено, что конвекция двойной диффузии может оказывать стабилизирующее, либо дестабилизирующее действие на устойчивость концентрационного адvectionного течения в тонком горизонтальном канале.

Практическая значимость работы заключается в том, что результаты исследования могут быть использованы в химической промышленности, например, для увеличения эффективности хемосорбции при секвестрации углекислого газа в глубоких соляных пластах.

Достоверность результатов обеспечивается использованием надежных современных методик измерения и обработки данных, детальным изучением и анализом результатов. Несомненно, сильной стороной работы является то, что большинство экспериментов проводились параллельно с теоретическими исследованиями этой же научной группы. При этом сравнение теоретических и экспериментальных результатов показывает хорошее согласие.

К работе могут быть высказаны следующие **замечания**:

1. В работе встречаются опечатки. Так, на стр. 10 в разделе “Апробация результатов” дважды перечисляется одна и та же конференция, проводившаяся в 2014 году: Всероссийская научно-практическая конференция “Актуальные задачи механики сплошных сред — 2016”. На самом деле в 2016 году такой конференции не было. В автореферате эта опечатка отсутствует.

2. В разделе “Экспериментальная установка и методика эксперимента” второй главы ничего не сказано о том, влияют ли каким-то образом возмущения, создаваемые заслонкой при ее удалении, на начальное состояние фронта реакции.

3. В тексте диссертации утверждается, что на рис. 2.7 и 2.19 изображены поля скоростей, что не является верным. На самом деле на рисунках представлена трековая визуализация структуры течения.

4. При описании результатов на стр. 45 остается непонятным, как оценивается скорость реакции в диффузионном режиме, поскольку координата фронта неравномерно меняется со временем (см. рис. 2.8).

5. Непонятно, почему на рис. 2.17 коэффициенты C_f для верхней и нижней серий точек оказались практически одинаковыми по величине. Объяснение этого момента в тексте диссертации отсутствует.

6. Вызывает удивление, почему на графиках изменения координаты фронта со временем (например, 2.8, 2.17, 2.24, 2.27, 3.6, 3.8) отсутствуют доверительные интервалы. Оценивалась ли погрешность этих результатов?

7. При анализе рис. 2.27 одновременно используются размерные и безразмерные величины, что запутывает читателя. Сам рисунок приведен в размерных величинах, в то время как в описании используется безразмерная скорость протекания реакции, критическое значение которой $v^* = \sqrt{Sc}$.

8. Точки на графиках, представленных на рис. 3.8, без линий тренда не воспринимаются.

9. На стр. 68 отмечается, что обнаруженный новый тип неустойчивости концентрационно-зависимой диффузии инициировал проведение теоретических исследований, результаты которых были опубликованы в статье D. Bratsun, K. Kostarev, A. Mizev, E. Mosheva. Concentration-dependent diffusion instability in reactive miscible fluids // Phys. Rev. E. 2015. Vol. 92. P. 011003. Вызывает недоумение, почему в диссертации не нашлось места для сравнения результатов этих экспериментов с теорией.

Заключение. Сделанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертации. Работа Мошевой Е.А. выполнена на высоком научном уровне, а результаты докладывались на конференциях всероссийского и международного уровней. Автореферат адекватно отражает содержание диссертации. Считаю, что диссертация представляет собой законченное научное исследование, удовлетворяющее требованиям Положения «О присуждении ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Старший научный сотрудник
Лаборатории вибрационной гидромеханики
ФГБОУ ВО «Пермский государственный
гуманитарно-педагогический университет»,
кандидат физ.-мат. наук


Субботин Станислав
Валерьевич
04.05.2018

Адрес: 614990, г. Пермь, ул. Сибирская, д.
24,
ПГГПУ, <http://pspu.ru>
Телефон – 8-963-880-60-80
E-mail: subbotin_sv@pspu.ru

Подпись Субботина С.В. заверяю

Начальник управления кадров




Чиркова О.В.