

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора физико-математических наук

Гималтдинова Ильяса Кадировича

на диссертационную работу Фатталова Оскара Олегович

«Экспериментальное исследование динамики твердых и газовых включений в жидкости в вибрационном и акустическом полях»,

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности

1.1.9 – Механика жидкости, газа и плазмы

Диссертация Фатталова О.О. посвящена **актуальным проблемам**, связанным с исследованием эффектов, возникающих в результате вибрационного и акустического воздействия на многофазные системы, в частности исследованию возможности повышения эффективности флотационного разделения руд с использованием ультразвука (УЗ).

Заявленная диссертантом **цель работы** заключается в определении закономерностей процессов, возникающих в жидкостях с твердыми и газовыми включениями при наличии неакустических вибраций и ультразвука.

Диссертация состоит из введения, обзора литературы, 3 глав, заключения и списка литературы. Общий объем диссертации 109 страниц. Библиография включает 193 наименования.

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы цель и задачи, показана научная новизна исследований, описана теоретическая и практическая значимость полученных результатов, представлены положения, выносимые на защиту.

В первой главе представлены результаты экспериментального исследования поведения двухфазной системы, представляющей собой жидкость с твердыми включениями при наличии горизонтальных неакустических вибраций линейной поляризации. Обнаружено существование трех режимов поведения системы: 1) случайное распределение частиц по объёму, 2) наличие квазистационарных пространственно-периодических структур, ориентированных ортогонально направлению вибраций, 3) режим с разделением фаз с границей раздела чистая жидкость – жидкость с включениями, перпендикулярной к направлению вибраций. Найдено, что определяющим параметром,

ответственным за существование различных режимов, является амплитуда скорости вибраций. Определены зависимости пространственного периода структур от вязкости жидкости, частоты и амплитуды вибраций. Показано, что пространственный период структур пропорционален толщине вязкого слоя Стокса. В рамках трехмерного подхода численно исследовано поведение ансамбля твердых частиц в вязкой жидкости под действием линейно-поляризованных поступательных вибраций. Обнаружено формирование равноотстоящих друг от друга плоских слоев частиц, перпендикулярных к направлению вибраций.

Вторая глава диссертации посвящена исследованию влияния акустических вибраций ультразвуковой частоты на поведение многофазных сред. Изучается поведение пузырьков в воде и водных растворах солей и ПАВ. Она состоит из двух разделов, в первом из которых изучается поведение пузырьков в объеме жидкости, во втором - поведение пузырьков вблизи помещенных в жидкость твердых пластин. Найдено, что диаметр пузырьков, возникающих в жидкости при УЗ воздействии, значительно уменьшается с увеличением концентрации солей NaCl и KCl вследствие ингибирования коалесценции. Обнаружено, что ультразвуковое воздействие приводит к повышению критической концентрации коалесценции (ККК) для водных растворов соли NaCl более чем в три раза по сравнению со случаем отсутствия УЗ воздействия. Обнаружено, что изменение краевого угла смачивания твердой поверхности с 78 до 99 градусов приводит к увеличению более, чем в сто раз скорости роста относительной площади, занимаемой пузырьками, образовавшимися при УЗ воздействии, на погруженной в жидкость пластине.

В третьей главе представлены результаты исследования процесса флотации калийной руды при УЗ воздействии. Показано, что для частиц мелкой и средней крупности УЗ обработка увеличивает или оставляет неизменным извлечение KCl, но заметно уменьшает извлечение NaCl. Таким образом, применение УЗ повышает эффективность процесса флотации за счет увеличения селективности извлечения. Этот эффект связан с десорбцией ПАВ с поверхности NaCl под действием УЗ, что приводит к её гидрофиллизации.

В **Заключении** приводятся основные результаты, полученные в диссертационной работе.

Новизна диссертационного исследования заключается в том, что в работе исследовались возникающие режимы поведения системы, состоящей из жидкости и твёрдых включений при воздействии неакустических вибраций. **Впервые** показано, что определяющим параметром, ответственным за существование различных режимов, является амплитуда скорости вибраций. Показано, что пространственный период структур пропорционален толщине вязкого слоя Стокса и амплитуде вибраций. В случае

акустических вибраций **новыми** являются результаты о том, что ультразвуковое воздействие приводит к повышению критической концентрации коалесценции (ККК) для водных растворов соли NaCl более чем в три раза по сравнению со случаем отсутствия УЗ воздействия. Показано, что изменение краевого угла смачивания твердой поверхности с 78 до 99 градусов приводит к увеличению более, чем в сто раз скорости роста относительной площади, занимаемой пузырьками, образовавшимися при УЗ воздействии, на погруженной в жидкость пластине. Получены **новые данные** о влиянии УЗ воздействия на процесс флотации калийных руд. Показано, что для частиц мелкой и средней крупности УЗ обработка увеличивает или оставляет неизменным извлечение KCl, но заметно уменьшает извлечение NaCl.

Данные о закономерностях эффектов, возникающих в многофазных системах содержащих различные включения под действием вибрационного и акустического полей, расширят фундаментальные знания о поведении различных включений в жидкости, а также их взаимодействия между собой, что составляет **теоретическую значимость** работы. Поиск закономерностей процессов, протекающих в многофазных системах при неакустических вибрациях, может помочь решению задач сепарации суспензий, эмульсий и их смесей. Разделение многофазных систем на фазы является одним из этапов многих технологических процессов. Понимание и описание процессов, протекающих в многофазных системах при вибрациях ультразвуковой частоты, важно для решения задач оптимизации процессов обогащения руд методом флотации, что представляет **практическую значимость**, в частности для разработки лабораторной флотационной машины с ультразвуковым блоком обработки.

Достоверность результатов исследования подтверждается использованием апробированных методик проведения экспериментов и численных расчетов и соответствием **экспериментальных и численных данных** имеющимся в литературе результатам в частных случаях

Результаты решения задач, поставленных в работе подробно проанализированы, выделены основные результаты и положения, которые последовательно сформулированы в конце каждой главы и в заключении к диссертации. Диссертант показал хорошее владение методами проведения экспериментальных исследований, а также продемонстрировал навык использования численного метода решения задачи. Результаты, полученные в диссертации, имеют теоретическую и практическую значимость, могут быть полезны при проектировании и модернизации технологических систем.

Основные научные результаты диссертации с достаточной полнотой опубликованы в 19 работах. Из них 9 — статьи в рецензируемых журналах, 8 из них в журналах,

рекомендованных ВАК и индексируемых в базах данных Scopus и WoS, одна статья в журнале, индексируемом в базе РИНЦ, 10 — материалы и тезисы докладов.

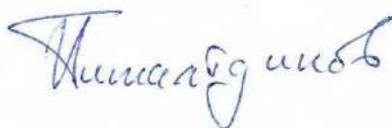
К работе можно высказать ряд **замечаний и вопросов**.

1. В первой главе диссертационной работы на стр.15-16 небрежно оформлен рисунок Рис.1.3, изображающий схемы различных экспериментальных установок, нагляднее было бы представить схемы на одной странице.
2. В первой главе диссертационной работы на стр.20 в подписи к Рис.1.7 написано «Рис.1.7 Карта режимов на плоскости параметров вибраций. Оранжевые символы – случайное распределение частиц по объёму (режим 1), серые символы – существование устойчивых пространственно-периодических структур частиц (режим 2), оранжевые символы – разделение фаз с границей раздела чистая жидкость - водоглицериновый раствор с плотно упакованными шариками, перпендикулярной оси вибраций (режим 3)». Однако из текста работы можно сделать вывод, что тут допущена ошибка в описании рисунка, которая противоречит описанию полученных результатов. Так, «Оранжевые» в первой строке подписи требуется заменить на «серые» символы, а «серые», во второй строчке описания, требуется заменить на слово «синие».
3. В первой главе диссертационной работы на стр.23 между подписью к рисунку и легендой приведенной зависимости существует несоответствие в размерности указанной частоты вибраций.
4. В первой главе диссертационной работы на стр.25 в предложении «На Рис.1.12 приведена зависимость безразмерного пространственного периода структур $\delta R = \delta/r_0$ от безразмерной толщины вязкого слоя Стокса $\lambda R = \lambda/r_0$ » перепутаны местами формулы для безразмерного пространственного периода и безразмерной толщины вязкого слоя Стокса.
5. Во второй главе на стр.51 представлен рисунок, демонстрирующий процесс роста пузырькового агломерата в узле стоячей волны. Несмотря на достаточное подробное описание исследования поведения единичных пузырьков, из текста работы не ясно, как увеличение концентрации соли NaCl влияет на процесс образования и динамику пузырькового агломерата.

Приведенные замечания не снижают общего **положительного впечатления** от работы. Автореферат в полностью отражает содержание диссертации.

Заключение. Диссертационная работа Фатталова Оскара Олеговича выполнена на хорошем научном уровне, она представляет собой законченную научно-квалификационную работу, удовлетворяющую всем критериям «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям. Фатталов Оскар Олегович заслуживает присуждения степени **кандидата физико-математических наук** по специальности 1.1.9 – Механика жидкости, газа и плазмы.

Заведующий кафедрой физики ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», член-корреспондент Академии наук Республики Башкортостан, доктор физ.-мат. наук, профессор



Гималтдинов Ильяс Кадирович
«15» февраля 2022

450064, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1, ауд. 1-355, E-mail: phyzika@rusoil.net, +7 (347) 242-07-18

Я, Гималтдинов Ильяс Кадирович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку

Подпись Гималтдинова И.К. заверяю.

Начальник ОРП



О.А. Дадаян