

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора физико-математических наук, профессора,

Гималтдинова Ильяса Кадировича на диссертационную работу

Кучинского Михаила Олеговича

«Экспериментальное исследование динамики пузырьков в жидкости при ультразвуковом воздействии», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

Диссертационная работа Кучинского Михаила Олеговича посвящена экспериментальному исследованию поведения пузырьков в жидкости и определению закономерностей процессов, возникающих при ультразвуковом воздействии. Использование ультразвука в жидкостных системах является перспективным направлением с широким спектром технологических приложений. Понимание физических механизмов и установление количественных закономерностей ультразвукового воздействия с учетом введения химических добавок имеет важное значение как с фундаментальной, так и с практической точек зрения. Заявленная диссидентом цель работы заключается в **определении закономерностей процессов, возникающих в жидкостях с пузырьками при ультразвуковом воздействии**.

Диссертация состоит из введения, трёх глав, заключения и списка литературы. Общий объём диссертации составляет 126 страниц. Библиография включает 164 наименования.

Во **введении** соискателем обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы цель и задачи, показана научная новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов, представлены положения, выносимые на защиту, а также приведена информация об апробации работы.

В **первой главе** представлены результаты экспериментального исследования кавитационной активности вsonoхимическом реакторе. Приведён обзор современных исследований, включающий сравнительный анализ экспериментальных методик. Описана конструкция экспериментальной установки. Подробно рассмотрен разработанный в рамках диссертационной работы метод визуализации пространственного распределения кавитационных событий с использованием тепловых карт, позволяющий отслеживать их временную динамику. Для регистрации кавитационной активности применялась тонкая алюминиевая фольга, натянутая на вертикальную рамку. Разработанный метод позволил проанализировать пространственно-временное распределение кавитационной активности в дистиллированной воде, а также исследовать влияние добавок соли NaCl и ПАВ SDS на процессы кавитации. Выявленна корреляция между зонами кавитационной активности и областями с повышенными значениями акустического давления.

Вторая глава посвящена изучению динамики газовых пузырьков вблизи и на твёрдых поверхностях с различной смачиваемостью под действием ультразвука. Подробно исследованы особенности взаимодействия пузырьков с гидрофильными (кварц) и относительно гидрофобными (акрил, тefлон) поверхностями, проанализировано влияние ультразвукового воздействия на их поведение, включая колебания формы и эволюцию контактного угла. Эксперименты показали принципиальные различия в поведении пузырьков на поверхностях с разной смачиваемостью. Показано, что на гидрофобных поверхностях ультразвуковое воздействие способствует более эффективному закреплению пузырьков на твёрдой поверхности, что связано с изменением смачиваемости поверхности под действием ультразвука.

Третья глава посвящена исследованию влияния ультразвукового воздействия на характеристики воздушных пузырьков, генерируемых в воде и водных растворах NaCl и ПАВ (SDS) с использованием кварцевой ультрафильтрационной мембранны. Установлено, что добавление солей NaCl и ПАВ SDS в отсутствие ультразвука приводит к увеличению

количества пузырьков при одновременном уменьшении их среднего размера. При включении ультразвукового воздействия наблюдается обратный эффект: снижение количества пузырьков при увеличении их среднего размера, что объясняется интенсификацией процессов коалесценции. Особый практический интерес представляет эффект, обнаруженный в комбинированном растворе соли NaCl (0.3 моль/л) и ПАВ SDS (3 ммоль/л): совместное присутствие этих компонентов приводит к взаимной компенсации их влияния, в результате чего распределение пузырьков по размерам, генерируемых мембранным методом, становится близким к распределению, наблюдаемому в чистой воде без добавок.

В **Заключении** приводятся основные результаты, полученные в диссертационной работе, а также обозначены направления для дальнейшего развития исследований в контексте их внедрения в действующие технологические и производственные системы. Это создает основу для практической реализации полученных научных выводов.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем:

- Разработан новый метод регистрации кавитационной активности, обеспечивающий пространственно-временной анализ активности кавитационных процессов в объемеsonoхимического реактора.
- Обнаружена корреляция между полями кавитационной активности и акустического давления, позволяющая использовать данные о распределении активности кавитации для нахождения распределения звукового давления.
- Найдено, что увеличение концентрации NaCl в воде приводит к подавлению кавитационной активности.
- Обнаружено, что под действием ультразвука поверхность пузырька, закрепившегося на гидрофобной твердой поверхности, совершает колебания с частотой, близкой к частоте второй моды собственных колебаний формы сферического пузырька.
- Показано, что в результате воздействия ультразвука статический контактный угол уменьшается за счет изменения свойств поверхности.
- Показано, что ультразвуковая обработка водных растворов NaCl приводит к увеличению среднего размера пузырьков, генерируемых мембранным методом, по сравнению с чистой водой.
- Зафиксирован и количественно охарактеризован эффект совместного влияния добавления NaCl и SDS в ультразвуковом поле, проявляющийся в сохранении распределения пузырьков по размеру, характерного для чистой воды, при десятикратном увеличении количества генерируемых пузырьков.

Практическая значимость результатов состоит в углублении понимания механизмов ультразвукового воздействия на жидкости с пузырьками. Полученные результаты могут быть использованы в различных технологических приложениях, включая процессы флотационного обогащения полезных ископаемых, для оптимизации режимов ультразвуковой обработки.

Достоверность результатов исследования подтверждается физической обоснованностью постановки эксперимента, применением современной высокоточной измерительной аппаратуры, апробированных экспериментальных методик. Полученные результаты согласуются с литературными данными. **Основные научные результаты** диссертации опубликованы в **8 печатных работах**, 7 из которых опубликованы в периодических научных журналах, индексируемых Web of Science и Scopus.

К работе можно высказать ряд замечаний и вопросов:

1. В разделе 1.2 представлен модифицированный метод теста фольгой с использованием тепловых карт для пространственно-временного анализа кавитации. Каковы основные ограничения данного метода при работе с непрозрачными или окрашенными жидкостями?
2. На рисунках 2.10 и 2.13 отдельно представлены левый и правый контактные углы. Наблюдалась ли систематическая асимметрия этих углов, и если да, то с чем она может быть связана (шероховатость поверхности, неоднородность акустического поля)?
3. При изучении влияния ультразвука на генерацию пузырьков с помощью мембранны не указана длительность ультразвукового воздействия.
4. В экспериментах с растворами NaCl и SDS использовалась дистиллированная вода. Учитывалось ли возможное влияние естественной микрогазации воды или наличия растворённых газов на воспроизводимость результатов?

Приведённые замечания не снижают общего **положительного впечатления** от работы. Автореферат в полной мере отражает содержание диссертации.

Заключение. Диссертационная работа Кучинского Михаила Олеговича выполнена на хорошем научном уровне, она представляет собой законченную научно-квалификационную работу, удовлетворяющую всем критериям «Положения о присуждении учёных степеней». Кучинский Михаил Олегович заслуживает присуждения учёной 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 АН РБ, доктор физико-математических наук, профессор

Гималтдинов Ильяс Кадирович

« 26 » января 2026

450064, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Космонавтов, д. 1, ауд. 1-355.
Тел.: +7 (347) 242-07-18; E-mail: Iljas_g@mail.ru

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

Подпись Гималтдинова Ильяса Кадировича

Начальник ОРП



О.А. Дадаев