

(ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ)

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ИНСТИТУТ ТЕПЛО- И МАССООБМЕНА ИМЕНИ А.В. ЛЫКОВА
НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ»

УДК 537.84 / 621.03

Аль-Джаиш
Таха Малик Мансур

**ФОРМЫ И УСТОЙЧИВОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ
МАГНИТНОЙ ЖИДКОСТИ В МАГНИТНОМ
И АКУСТИЧЕСКОМ ПОЛЯХ**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы

Минск, 2015

Работа выполнена в Белорусском национальном техническом университете.

Научный руководитель:	Баштовой Виктор Григорьевич , доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой ЮНЕСКО «Энергосбережение и возобновляемые источники энергии» Белорусского национального технического университета
Официальные оппоненты:	Байков Валентин Иванович , доктор технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории турбулентности Государственного научного учреждения «Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова Национальной академии наук Беларуси»; Дударев Владимир Владимирович , кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры энергосбережения, гидравлики и теплотехники Учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет»
Оппонирующая организация:	Республиканское научно-производственное унитарное предприятие «Институт энергетики Национальной академии наук Беларуси»

Защита состоится 28 апреля 2015 г. в 14.00 час. на заседании совета по защите диссертаций Д 01.13.01 при Государственном научном учреждении «Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова Национальной академии наук Беларуси» по адресу: 220072, г. Минск, ул. П. Бровки, 15, корп. 3, конференц-зал. E-mail совета: sovet@itmo.by. Телефон ученого секретаря совета (+375 17) 284-23-87.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси.

Автореферат разослан «23» *марта* 2015 г.

Ученый секретарь совета по защите диссертаций Д 01.13.01, кандидат физико-математических наук



Жукова Ю.В.

© Аль-Джани Таха М., 2015

© Белорусский национальный технический университет, 2015

ВВЕДЕНИЕ

Совершенствование многих современных технических систем в значительной степени базируется на использовании новых материалов со специальными свойствами, позволяющими осуществлять управление ими с помощью разнообразных внешних воздействий, в частности, с помощью электрических и магнитных полей.

Одним из представителей таких новых сред являются магнитные жидкости, представляющие собой коллоидный раствор твердых наночастиц ферромагнитного вещества, покрытых поверхностно-активным веществом для предотвращения их агрегирования.

Наиболее широкое применение магнитных жидкостей связано с уплотнительной техникой, виброзащитными системами, контрольно-измерительными приборами, медицинскими технологиями.

Одной из особенностей магнитных жидкостей является высокая чувствительность их свободной поверхности к внешним магнитным полям, приводящая как к особым видам ее неустойчивости, так и к широким возможностям формирования их геометрии. Большой вклад в исследование этих процессов внесен научными школами д-ра Р.Розенцвейга (США), проф. Жан Клода Бакри (Франция), проф. А.Цеберса (Латвия), проф. В.В.Гогосова, проф. В.А.Налетовой, проф. В.В.Чеканова, проф. Ю.Л.Райхера, проф. А.Ф.Пшеничникова (Россия) а также белорусскими учеными.

Одним из направлений технических применений объемов магнитной жидкости со свободной поверхностью является их использование для создания управляемых жидкостных контактов, обеспечивающих целенаправленный транспорт различных энергетических потоков: акустических, тепловых, электромагнитных. В связи с этим особый интерес вызывают акустические свойства магнитных жидкостей и их зависимость от внешних магнитных полей. Основоплагающий вклад в разработку этих вопросов внесен работами научных школ проф. В.М.Полунина, проф. В.В.Чеканова, проф. В.В.Гогосова, проф. Соколова В.В. (Россия), проф. П.П.Прохоренко и проф. А.Р.Баева (Беларусь).

Эффективное практическое применение магнитных жидкостей в такого рода устройствах требует четкого понимания происходящих в них процессов и связанных с ними эффектов при взаимном воздействии разного рода силовых полей: магнитного, гравитационного, акустического.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с научными программами (проектами).

Работа выполнялась в рамках:

1. Государственных программ научных исследований:

1.1 «Энергобезопасность, энергоэффективность и энергосбережение, атомная энергетика» («Энергоэффективность»), (2014 -2015 гг.). Задание 2.2.16 «Магнитоуправляемые теплообменные технологии на основе жидких гетеромагнитных систем» (ГР №20140676).

1.2. «Исследование энерго- и массопереноса в сложных системах и разработка новых технологий, устройств и систем управления переносом энергии и вещества в различных средах и объектах, обеспечивающих снижение энерго- и материалоемкости базовых процессов в отраслях народного хозяйства» (Энергоэффективность) (2011-2013гг.). Задание «Энергоэффективность 1.2.7.» «Исследование гидродинамики и теплопереноса в магниточувствительных газожидкостных системах, в том числе с фазовыми превращениями, под воздействием внешних переменных во времени магнитных полей с целью установления эффективных механизмов управления этими процессами», (ГР №20110366).

2. 4-х проектов Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований.

Цели и задачи исследования

Цель работы - установить закономерности поведения ограниченных объемов магнитной жидкости со свободной поверхностью под воздействием магнитного и акустического полей применительно к созданию магнитоуправляемых жидкостных контактов (акустических, тепловых, электрических).

Основными задачами исследования являются:

1. Разработать аналитическую теорию деформации и устойчивости ограниченных объемов магнитной жидкости со свободной поверхностью в магнитном и акустическом полях и установить физические механизмы управления ими.

2. Теоретически и экспериментально установить новые закономерности:

- деформации капель магнитной жидкости и их устойчивости в

магнитном, гравитационном и акустическом полях;

- влияния ориентации магнитного поля на устойчивость свободной поверхности магнитной жидкости;

- ультразвукового фонтанирования и распыления магнитной жидкости в магнитном поле.

3. Выдать рекомендации по повышению эффективности и надежности работы магнитожидкостных устройств, использующих акустические и магнитные поля.

Положения, выносимые на защиту

На защиту выносятся:

1. Аналитические соотношения и экспериментальные зависимости геометрических характеристик и пороговых значений параметров устойчивости полуграниченной капли магнитной жидкости объемом 50-350 мм³ от напряженности магнитного поля в диапазоне до 50 кА/м и акустического полей с давлением в жидкости до 70 Па.

2. Положение о том, что основным механизмом, приводящим к топологической неустойчивости капли магнитной жидкости, является сила тяжести и существует верхняя и нижняя границы неустойчивости находящиеся в пределах напряженности магнитного поля 5-25 кА/м.

3. Положение о наличие минимального объема жидкости порядка 150 мм³, меньше которого капля магнитной жидкости не подвержена топологической неустойчивости при возрастании напряженности магнитного поля, а также максимально возможного устойчивого в гравитационном и однородном магнитном поле объема капли порядка 320 мм³.

4. Положение о стабилизирующем действии акустического поля, приводящем к повышению порога топологической неустойчивости капли и к увеличению критических значений напряженности магнитного поля в два раза от 12 кА/м до 24 кА/м в акустическом поле с давлением в жидкости 60 Па.

5. Положение о снижении порога начала ультразвукового фонтанирования в магнитной жидкости с 48 Па до 9 Па в присутствии вертикального однородного магнитного поля напряженностью 5кА/м и увеличении длины нераспавшейся части струи фонтана в 4 раза.

6. Положение о том, что в наклонном магнитном поле при уменьшении угла его наклона к горизонту удлинение капли происходит более интенсивно, а порог топологической неустойчивости снижается и критические объемы жидкости уменьшаются более, чем на 20%.

Личный вклад соискателя

Соискатель лично участвовал в разработке аналитической теории деформации и устойчивости капель магнитной жидкости в магнитном и акустическом полях; лично участвовал в создании экспериментальных установок и выполнил существенную часть экспериментальных исследований. Постановка задач исследования, обсуждение полученных результатов и подготовка статей к публикации выполнены совместно с научным руководителем.

Апробация диссертации и использовании ее результатов

Основные положения, выносимые на защиту и выводы диссертационного исследования докладывались и обсуждались на 13 международных научно-технических конференциях.

Результаты работы внедрены в учебный процесс в Белорусском национальном техническом университете (Акт внедрения № 15 от 16 июня 2014) и использованы при чтении курсов «Механика жидкости и газа» и «Гидрогазодинамика» для студентов энергетических специальностей.

Опубликование результатов диссертации

Основное содержание диссертации опубликовано в 16 научных работах, обобщающих результаты диссертации, из них в 3-х статьях в рецензируемых журналах перечня научных изданий ВАК Беларуси, в 13 статьях и тезисах в сборниках материалов международных научно-технических конференций.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав, заключения и приложений. Общий объем диссертационной работы составляет 135 страниц, включая 77 рисунков, 2 таблицы и список использованной литературы из 91 наименования.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе приведен аналитический обзор имеющихся к настоящему времени результатов по процессам, имеющим место на свободной поверхности магнитной жидкости в однородном магнитном и акустическом полях. Проанализированы теоретические и экспериментальные исследования формы и топологической неустойчивости капли магнитной жидкости в однородном магнитном поле, распространения акустических волн в магнитной жидкости и вызываемых ими явлений на ее поверхности.

По результатам обзора установлено, что практически неисследованным является одновременное воздействие магнитных и акустических полей на ограниченные объемы магнитной жидкости со свободной поверхностью.

На основании литературного обзора сформулированы основные задачи диссертационного исследования.

Вторая глава посвящена описанию используемых в работе экспериментальных методик и установок по исследованию физических свойств опытных образцов магнитных жидкостей: кривых намагничивания и намагниченности насыщения, плотности, коэффициентов поверхностного натяжения и вязкости; а также форм и топологической неустойчивости объемов магнитной жидкости со свободной поверхностью (капель) под воздействием однородного магнитного и акустического полей. Описаны использованные источники однородного магнитного поля (катушки Гельмгольца), источники акустических полей (ультразвуковой генератор мегагерцовой частоты), измерительная аппаратура для магнитных измерений. Приведены приборные погрешности измерений, которые в большинстве измерений не превышают 1% и только при определении характеристик акустического поля могут достигать до 5%.

В экспериментах использован набор магнитных жидкостей на основе керосина с широким диапазоном физических свойств: плотности ρ от 1191 кг/м³ до 1650 кг/м³, намагниченности насыщения M_s от 23,7 кА/м до 72,5 кА/м, коэффициента поверхностного натяжения σ от 0,023 Н/м до 0,029 Н/м. Маркировка магнитных жидкостей осуществляется с помощью буквенных обозначений МК и числа, соответствующего округленной намагниченности насыщения магнитной жидкости, например МК-72.

выбора конкретных параметров объемов магнитной жидкости при использовании их в управляемых магнитожидкостных контактах различного назначения (акустических, тепловых, электрических).

Так для надежной работы магнитожидкостных контактов объемы магнитных жидкостей должны находиться в условиях устойчивого их состояния, и иметь величины ниже установленного в работе минимального объема, меньше которого капля магнитной жидкости вообще не подвержена топологической неустойчивости, и не больше максимально возможного устойчивого объема (соответственно 150 мм³ и 320 мм³ для жидкости с намагниченностью насыщения 72 кА/м).

Используемые зазоры для жидкостного контакта должны быть не больше размеров капель, формирующихся в магнитном поле при заданном их объеме, что, в частности, составляет не более 20 мм для капель объемом порядка 250 мм³ и напряженности магнитного поля порядка 25 кА/м.

Научные результаты работы могут быть использованы в учебном процессе технических университетов при изучении таких дисциплин, как «Механика жидкости и газа» и внедрены в учебный процесс Белорусского национального технического университета.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

Статьи в рецензируемых научных изданиях

1-А Баштовой, В.Г. Топологическая неустойчивость полуограниченной капли магнитной жидкости / В.Г. Баштовой, А.Г.Рекс, Аль-Джаиш Таха Малик Мансур // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия физико-технических наук». – 2013. – № 4. – С. 64-69.

2-А Баштовой, В.Г. Влияние ультразвука на деформацию и устойчивость капли магнитной жидкости / В.Г. Баштовой, А.Г.Рекс, Аль-Джаиш Таха Малик Мансур // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия физико-технических наук». – 2014. – № 3. –С.63-68.

3-А Баштовой, В.Г. Деформация полуограниченной капли магнитной жидкости в магнитном и гравитационном полях / В.Г. Баштовой, А.Г.Рекс, Аль-Джаиш Таха Малик Мансур // Наука и техника. 2014. – № 3. –С.78-82.

Статьи в сборниках статей и материалах конференций

4-А Гришук, Е.А. Исследование влияния диффузии на плавание постоянного магнита в магнитной жидкости / Аль-Джаиш Таха Малик Мансур, Рекс А.Г., Климович С.В. // Инновационные технологии управления: материалы 66-й студенческой научно-техн. конференции БНТУ, Минск, 2010 г. – Минск, 2010. – С.117-119.

5-А Аль-Джаиш, Таха Исследование характеристик упругих магнитоуправляемых эластомеров / Аль-Джаиш Таха, В.Г.Баштовой, А.Г.Рекс, С.В.Климович // Материалы международной научно-практической конференции «Международный менеджмент и маркетинг в сфере образования» БНТУ, Минск, 2011 г. – Минск, 2011. – Часть 2. – С.222-225.

6-А Рекс, А.Г. Исследование влияния температуры на вязкость магнитных жидкостей / А.Г.Рекс, Аль-Джаиш Таха // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 9-й междунар. науч.-технич. конф., Минск, 2011г. /Белор. нац. техн. ун-т. – Минск, 2011. – Т.1. – С.153.

7-А Аль-Джаиш, Таха Малик Мансур. Упругие магнитоуправляемые эластомеры / Баштовой В.Г., Рекс А.Г., Климович С.В. // Современные технологии управления социально-экономическими процессами: материалы 67-й студенческой научно-практ. конференции БНТУ, Минск, 2011 г. – Минск, 2011. – С. 75.

8-А Баштовой, В.Г. Разработка методики синтеза и испытание магнитоуправляемых эластомеров с различными магнитными наполнителями /В.Г. Баштовой, А.Г.Рекс, С.В.Климович, Л.В.Сулдоева, Аль-Джаиш Таха // Информационная безопасность: философские, правовые, этические, психологические, институциональные, технологические аспекты деятельности: материалы междунар.научно-практ. конф., Минск, 2012г. /Белор. нац. техн. ун-т. – Минск, 2012. – с. 262-263.

9-А Баштовой, В.Г. Топологическая неустойчивость магнитной жидкости в магнитном и акустическом полях / В.Г. Баштовой, А.Г.Рекс, Аль-Джаиш Таха //Тезисы Российской конференции по магнитной гидродинамике, Пермь, 2012 г.

10-А Баштовой, В.Г. Исследование топологической неустойчивости капли магнитной жидкости на пластине / В.Г. Баштовой, Аль-Джаиш Таха //Наука – образованию, производству, экономике: ма-

териалы 10-й междунар. научн.-технич. конф., Минск, 2012г.: в 2 т. /Белор. нац. техн. ун-т. – Минск, 2012. – Т.1. – С.157.

11-А Аль-Джаиш, Таха Полупромышленная установка синтеза магнитных жидкостей на основе различных дисперсионных сред / Таха Аль-Джаиш, А.А.Моцар А.Г.Рекс, Л.В. Сулоева / Физика и технология наноматериалов и структур: сб. научн. статей Международной конференции, г. Курск, 2013 г. / Юго-Зап. гос. ун-т. – Курск, 2013. С. 124-126.

12-А Баштовой, В.Г. Влияние ультразвука на распад капель магнитной жидкости в магнитном поле / В.Г.Баштовой, А.Г.Рекс, Аль-Джаиш Таха // Информационные технологии в технических и социально-экономических системах: материалы междунар. научно-практ. конф., Минск, 2013г. /Белор. нац. техн. ун-т. – Минск, 2013. – с. 59.

13-А Баштовой, В.Г. Исследование формы капли магнитной жидкости на пластине / В.Г. Баштовой, Аль-Джаиш Таха //Наука – образованию, производству, экономике: материалы 11-й междунар. научн.-технич. конф., Минск, 2013г.: в 4 т. /Белор. нац. техн. ун-т. – Минск, 2013. – Т.1. – С.173.

14-А Аль-Джаиш, Таха Влияние магнитного поля на условия фонтанирования магнитной жидкости в ультразвуковом поле / Аль-Джаиш Таха, В.Г.Баштовой, А.Р.Баев, А.Г.Рекс // Информационные технологии в технических и социально-экономических системах: материалы научно-техн. конф., Минск, 2014г. /Белор. нац. техн. ун-т. – Минск, 2014 – с. 99-101.

15-А Аль-Джаиши, Таха Исследование формы капли магнитной жидкости на горизонтальной пластине в магнитном поле / Аль-Джаиши Таха // Информационные технологии в технических и социально-экономических системах: материалы научно-техн. конф., Минск, 2014г. /Белор. нац. техн. ун-т. – Минск, 2014 – с. 96-98.

16-А Аль-Джаиш, Таха Малик Мансур Исследование влияния магнитного поля на разбрызгивание и распыление магнитной жидкости в акустическом поле //Наука – образованию, производству, экономике: материалы 12-й междунар. научн.-технич. конф., Минск, 2014г.

РЭЗІЮМЭ

Аль-Джаіш Таха Малік Мансур Формы і ўстойлівасць паверхні магнітнай вадкасці у магнітным і акустычным палях

Ключавыя словы: магнітная вадкасць, свабодная паверхня, устойлівасць, кропля, магнітнае поле, акустычнае поле.

Аб'ект даследавання: аб'ёмы магнітных вадкасцяў.

Прадмет даследавання: статыка вадкасцяў; дэфармацыя аб'ёма вадкасці; працэсы, якія праходзяць у аб'ёмах магнітных вадкасцяў са свабоднай паверхняй.

Цэль работы: устанавіць заканамернасці паводзіі абмежаваных аб'ёмаў магнітнай вадкасці са свабоднай паверхняй пад уздзеяннем магнітнага і акустычнага паляў прымяняльна да ўдасканалення ўльтратрагукавых тэхналогій і прылад на базе магнітавадкасных кампазіцый.

Метады даследавання : Метады даследавання ўключаюць у сябе вызначэнне фізічных якасцяў магнітных вадкасцяў, вывучэнне форм свабоднай паверхні і ўстойлівасці ў магнітным і акустычным палях. Формы паверхні вадкасці даследаваны стандартнымі эксперыментальнымі метадыкамі з прымяненнем фота- і відыётэхнікі і з камп'ютэрнай апрацоўкай атрымленых матэрыялаў.

Атрымленыя вынікі і іх павізна: Прадстаўленныя тэарэтычныя і эксперыментальныя вынікі па дэфармацыі паўабмежаванай кроплі магнітнай вадкасці, яе тапалагічнай няўстойлівасці ў аднародным магнітным полі і ўплыва на гэтыя працэсы акустычнага поля, а таксама эксперыментальныя вынікі па акустычнаму фантагіраванню магнітнай вадкасці і ўстойлівасці яе паверхні ў нахільным магнітным полі з'яўляюцца новымі, пашыраюць навуковыя ўяўленні аб механіцы магнітных вадкасцяў і ўносяць уклад у развіццё механікі вадкасцяў у цэлым.

Практычная значнасць. Атрымленыя вынікі могуць быць выкарыстаны пры стварэнні кіруемых магнітавадкасных кантактаў рознага прызначэння (акустычных, цеплавых, электрычных), а таксама ў вучэбным працэсе тэхнічных універсітэтаў.

РЕЗЮМЕ

Аль-Джаши Таха Малик Мансур Формы и устойчивость поверхности магнитной жидкости в магнитном и акустическом полях

Ключевые слова: магнитная жидкость, свободная поверхность, устойчивость, капля, магнитное поле, акустическое поле.

Объект исследования: объемы магнитных жидкостей.

Предмет исследования: статика жидкостей; деформация объема жидкости; процессы, протекающие в объемах магнитных жидкостей со свободной поверхностью.

Цель работы: установить закономерности поведения ограниченных объемов магнитной жидкости со свободной поверхностью под воздействием магнитного и акустического полей применительно к совершенствованию ультразвуковых технологий и устройств на базе магнитожидкостных композиций.

Методы исследования включают в себя: определение физических свойств магнитных жидкостей, изучение форм свободной поверхности и устойчивости в магнитном и акустическом полях. Формы поверхности жидкости исследованы стандартными экспериментальными методиками с привлечением фото- и видеотехники и с компьютерной обработкой полученных материалов.

Полученные результаты и их новизна:

Представленные теоретические и экспериментальные результаты по деформации полуограниченной капли магнитной жидкости, ее топологической неустойчивости в однородном магнитном поле и влиянию на эти процессы акустического поля, а также экспериментальные результаты по акустическому фонтанированию магнитной жидкости и устойчивости ее поверхности в наклонном магнитном поле являются новыми, расширяют научные представления о механике магнитных жидкостей и вносят вклад в развитие механики жидкостей в целом.

Практическая значимость. Полученные результаты могут быть использованы при создании управляемых магнитожидкостных контактов различного назначения (акустических, тепловых, электрических), а также в учебном процессе технических университетов.

SUMMARY

Al-Jhaish Taha Malik Mansoor
**Shape and stability of the surface of the magnetic fluid
in the magnetic and acoustic fields**

Keywords: magnetic fluid, free surface, stability, drop, magnetic field, acoustic field.

The object of research: volumes of magnetic fluids.

Subject of research: fluid statics, deformation of the volume of fluid, processes, flowing in the volume of magnetic fluids with a free surface.

Purpose of research: to establish patterns of behavior of limited volumes of magnetic fluid with a free surface under effects of magnetic and acoustic fields, in the context of the improvement of ultrasound technology and devices based on magnetic fluids-compositions.

Research methods: research methods include the determination of the physical properties of magnetic fluids, study forms the free surface and stability in magnetic and acoustic fields. Surface shape of the fluid was studied by standard experimental techniques with the involvement of photographic and video equipment and computer processing of the obtained materials.

The results obtained and their novelty: each of the theoretical and experimental results presented of deformation and topological instability of semi bounded magnetic fluid drop in an external homogeneous magnetic field and the influence of acoustic field on them, as well as experimental results of acoustic fountain of magnetic fluid and its surface stability in a tilted magnetic field are new. Expand scientific presentation of the mechanics of magnetic fluids and contribute to the development of fluid mechanics in general.

The practical significance: the results obtained can be used to create controlled magnetic fluids-contacts for different purposes (acoustic, thermal, electrical) as well as in the educational process of technical universities.