

Отзыв официального оппонента о диссертации А.А. Фатхи Габера

**«Математическое моделирование динамики магнитной частицы во внешнем поле»**, представленной на соискание ученой степени кандидата физико – математических наук

Диссертационная работа Абубакра Али Фатхи Габера посвящена математическому моделированию отклика дисперсной магнитной системы на гармоническое магнитное поле. Дисперсная компонента таких систем – магнитные частицы размером от нескольких нанометров до сотни нанометров, а среды носители самые разные - от жидкостей вязких и вязкоупругих до упругих тел. Жидкие магнитные дисперсии, получившие название «магнитные жидкости» изучаются довольно давно – с начала 60-х годов прошлого века. Для них найдена область практического использования в технике – это различные уплотнения в подвижных узлах механизмов, а также некоторые элементы акустических устройств. В последние годы интерес исследователей сместился в сторону изучения магнитных дисперсий на неньютоновских средах – носителях и, пожалуй, главное из этих новых направлений – это создание управляемой гипертермии в биологических тканях, являющейся основой одного из перспективных методов лечения онкологических заболеваний. Математическому моделированию именно этого процесса и посвящена диссертационная работа А.А. Фатхи Габера, так что актуальность ее не вызывает никаких сомнений.

Во введении приведен краткий, но достаточно квалифицированный обзор современного состояния исследований в области изучения поглощения энергии переменного магнитного поля магнитными наночастицами, находящимися в различных средах. На основе этого анализа поставлены основные задачи и сформулирована цель работы. С физической точки зрения самая общая и сложная из сформулированных задач состоит в изучении тепловыделения системой несферических взаимодействующих частиц, находящихся в реологически сложных средах под действием переменного магнитного поля. Для решения этой задачи необходимо построить математические модели изучаемого физического процесса, подобрать и отработать адекватные численные методы и создать соответствующий комплекс программ с удобным для работы интерфейсом.

В первой главе рассмотрено поглощение энергии магнитного поля ансамблем несферических частиц, имеющих постоянный магнитный момент

и способных намагничиваться. Показано, что удлиненные частицы являются лучшими источниками тепла, чем сферические частицы такого же объема как в ньютоновской, так и в вязкоупругой и упруго вязкой средах. Проведено тестирование разработанной численной процедуры на основе сравнения с предельным случаем, позволяющим получить аналитическое решение. Замечание к этой части работы относится к процедуре усреднения по начальным ориентациям частиц – формула (1.13). Из логики построения модели, на мой взгляд, следует, что усреднять нужно по телесному углу.

Во второй главе диссертации рассмотрено влияние межчастичного диполь-дипольного взаимодействия на поглощение энергии переменного магнитного поля ансамблем частиц, имеющих постоянный магнитный момент. Эта очень сложная много частичная задача решается в приближении парных взаимодействий, позволяющем достаточно корректно описывать умеренно концентрированные дисперсные системы. Здесь, так же как и в первой главе тепловым (броуновским) движением частиц пренебрегается. Для упрощения расчетов рассматривалась плоская геометрия системы, в которой ориентационное состояние каждой частицы задается одним углом по отношению к полю. Расчеты показали, что межчастичное взаимодействие значительно усиливает тепловой эффект. Замечание к этой части работы аналогично предыдущему – усреднять скорость увеличения температуры (формула (2.13)) следует по всему угловому интервалу от 0 до  $2\pi$ .

Третья глава работы, пожалуй, самая интересная. В ней исследуется неелевский механизм диссипации магнитной энергии, обусловленный перемагничиванием частиц. Показано, что в системе частиц с фиксированной параллельной ориентацией осей легкого намагничивания достаточно сильное диполь – дипольное взаимодействие приводит к появлению максимума на частотной зависимости тепловыделения. Кроме того, тепловыделение растет с увеличением концентрации частиц быстрее, чем по линейному закону. Для систем с хаотической ориентацией эти эффекты практически незаметны, да и масштаб величины тепловыделения уменьшается больше чем на порядок по сравнению с ориентированной системой из таких же частиц с той же концентрацией. В силу большой величины обнаруженных эффектов, на мой взгляд, следовало бы более детально исследовать механизм усиления тепловыделения. Почему это происходит именно в ориентированной системе с сильным межчастичным взаимодействием? С точки зрения теории линейного отклика максимум на кривой поглощения означает наличие резонанса в системе. Однако, в работе используется безынерционное приближение при описании динамики частиц

и возникает вполне естественное утверждение: нет инерции – нет резонанса!  
Почему это утверждение не работает в рассмотренной модели?

В четвертой главе поставлена и решена теплофизическая задача о нагреве выделенного сферического объема с распределенными источниками, находящегося в среде с известными теплофизическими характеристиками. При этом полагается, что между разогреваемым объемом и средой находится промежуточный слой со своими тепловыми параметрами. Решение этой задачи позволило получить важную информацию об изменении температуры активного объема (опухоли) в зависимости от физических характеристик находящихся в нем частиц и управлять этим процессом с помощью переменного магнитного поля, что как раз и необходимо на практике.

Последняя, пятая глава посвящена разработке комплекса программ для расчета управляемой гипертермии в различных средах. Созданный комплекс, безусловно, важен и полезен уже тем, что позволяет легко расширять свою физическую базу – в него можно добавлять новые физические модели систем частиц и сред носителей. Кроме того, этот комплекс после соответствующей настройки и калибровки, наверное, может стать рабочим инструментом в медицинских исследованиях.

Существенных замечаний по работе нет, а сделанные выше носят частный характер и не влияют на общую положительную оценку работы.

Работа написана хорошим языком, снабжена достаточным количеством графиков и таблиц. Основные результаты диссертации опубликованы в рецензируемых журналах из списка ВАК и докладывались на многих международных и всероссийских конференциях. Достоверность основных результатов и выводов не вызывает сомнений – все это свидетельствует о хорошей квалификации соискателя. Представленная диссертация удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико – математических наук, а ее автор Абубакр Али Фатхи Габер заслуживает присуждения искомой степени по специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ. Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Русаков Виктор Владимирович, к.ф.-м.н., старший научный сотрудник  
ИМСС УрОРАН, Пермь, 614013, ул. Королева, 1. [vvr@icmm.ru](mailto:vvr@icmm.ru),  
(342)2378423

13.10.2016



тел. 2378423  
Лицую подписать  
удостоверяю  
Специалист по кадрам  
*Русаков В.В.*