

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ЭКСПЕРТНОЙ КОМИССИИ

по защите диссертации Рытова Руслана Алексеевича на тему:

«Теоретическое и экспериментальное исследование ансамблей магнитных наночастиц, полученных методом механокавитации, для применения в биомедицине»,
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния и состоявшейся в НИТУ МИСИС
10.10.2023 г.

Диссертация принята к защите диссертационным советом НИТУ МИСИС 27.06.2023 г., протокол № 12.

Диссертация выполнена на кафедре металлургии стали, новых производственных технологий и защиты металлов федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук Усов Николай Александрович, ведущий научный сотрудник лаборатории геомагнитных вариаций Института земного магнетизма и ионосферы им. Н. В. Пушкова РАН, профессор отделения биотехнологий ИАТЭ НИЯУ МИФИ. В период подготовки соискателем диссертации являлся профессором кафедры металлургии стали, новых производственных технологий и защиты металлов НИТУ МИСИС.

Экспертная комиссия утверждена Диссертационным советом НИТУ МИСИС (протокол №12 от 27.06.2023 г.) в составе:

1. Панина Лариса Владимировна – д.ф.-м.н., профессор кафедры технологии материалов электроники НИТУ МИСИС – председатель экспертной комиссии;
2. Калошкин Сергей Дмитриевич – д.ф.-м.н., профессор, директор Института новых материалов НИТУ МИСИС;
3. Ховайло Владимир Васильевич – д.ф.-м.н., профессор кафедры функциональных наносистем и высокотемпературных материалов НИТУ МИСИС;
4. Грановский Александр Борисович – д.ф.-м.н., профессор кафедры магнетизма Физического факультета федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»;
5. Завестовская Ирина Николаевна – д.ф.-м.н., высококвалифицированный ведущий научный сотрудник лаборатории радиационной биофизики и биомедицинских технологий федерального государственного бюджетного учреждения науки Физический институт имени П.Н. Лебедева Российской академии наук.

В качестве ведущей организации утверждено федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Институт общей

физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук».

Экспертная комиссия отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

1. С помощью метода механокавитации впервые были получены ансамбли магнитных наночастиц из магнитного сплава $\text{Fe}_{73}\text{Co}_{27}$ и оксида железа Fe_3O_4 .

2. Для ансамбля наночастиц Fe_3O_4 экспериментально исследовано влияние кластеризации на удельную поглощаемую мощность ансамбля. Показано, что ориентация кластеров наночастиц в направлении внешнего магнитного поля существенно увеличивает удельную поглощаемую мощность.

3. С помощью численного моделирования оптимизирован размер и геометрическая структура сферических капсул для применения в магнитной гипертермии. Показано, что при оптимальном распределении источников тепла в биологической среде необходимое распределение температуры возможно получить при удельной поглощаемой мощности в 100 – 200 Вт/г.

4. Определены условия возникновения различных динамических режимов движения векторов намагниченности и директоров наночастиц с одноосным типом магнитной анизотропии, распределенных в вязкой жидкости в широком диапазоне амплитуды и частоты внешнего переменного магнитного поля.

5. Установлены пределы применимости теории линейного отклика для оценки площади петли гистерезиса и нагревательной способности невзаимодействующих ансамблей магнитных наночастиц с одноосным типом магнитной анизотропии в вязкой жидкости.

6. Найдены три режима динамики ансамбля невзаимодействующих магнитных наночастиц в вязкой жидкости во вращающемся магнитном поле. Аналитически определены границы переходов между указанными динамическими режимами.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

Развита методика моделирования динамики однодоменных магнитных наночастиц в вязкой жидкости с помощью стохастических уравнений Ландау-Лифшица в переменном и вращающемся магнитном поле. Были определены границы применимости теории линейного отклика намагниченности для расчета удельной поглощаемой мощности ансамблей магнитных наночастиц. С помощью моделирования были найдены режимы вращения магнитных наночастиц в жидкости, а также аналитически определены условия возникновения таких режимов.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что метод механокавитации перспективен для получения наночастиц с высокими значениями намагниченности насыщения,

поскольку частицы наследуют свойства и кристаллическую структуру исходных макрообразцов. Полученные результаты могут быть использованы для интерпретации экспериментальных данных по измерению удельной поглощаемой мощности магнитных наночастиц в жидкости и в твердой матрице.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

Достоверность экспериментальных данных подтверждается их сравнением с результатами детального численного моделирования, которое проводится без каких-либо подгоночных параметров, и воспроизводит условия эксперимента, а также согласием результатов с аналогичными экспериментами других исследователей. Достоверность теоретических результатов подтверждается проведением тестовых расчетов, согласием результатов моделирования с известными аналитическими оценками, а также согласием с известными расчетными данными, полученными другими исследователями.

Личный вклад автора в настоящую работу состоит в проведении экспериментов, разработке программ и проведении расчетов. Постановка задач, обработка экспериментальных данных и подготовка публикаций к печати проводилась автором совместно с научным руководителем.

Соискатель имеет 8 опубликованных статей, входящих в перечень ВАК РФ, 7 из которых индексируются в международных базах данных WoS/Scopus.

Пункт 2.6 Положения о порядке присуждения ученых степеней в НИТУ МИСИС соискателем ученой степени кандидата наук не нарушен. Диссертация Рытова Руслана Алексеевича соответствуют критериям п. 2 Положения о порядке присуждения ученых степеней в НИТУ МИСИС, так как в ней на основании выполненных автором исследований содержится решение задачи по созданию и характеристике магнитных наночастиц с помощью метода механокавитации для биомедицинских приложений. Полученные в работе результаты имеют важное научное значение и являются перспективными для практических задач.

Экспертная комиссия приняла решение о возможности присуждения Рытову Руслану Алексеевичу ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – «Физика конденсированного состояния».

При проведении тайного голосования экспертная комиссия в количестве 4 человек, участвовавших в заседании, из 5 человек, входящих в состав комиссии, проголосовали: за – 4, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель экспертной комиссии
доктор физико-математических наук



Л. В. Панина

10.10.2023