

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.411.03 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ТВЕРСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» МИНИСТЕРСТВА
НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА
НАУК

Аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 23.05.2025 г. №5

О присуждении Дунаевой Галине Григорьевне, гражданке РФ, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Взаимосвязь процессов перемангничивания и трансформации доменной структуры на поверхности и в объёме магнитоодноосных магнетиков» в виде рукописи по специальности 1.3.12. Физика магнитных явлений принята к защите 21.03.2025, протокол № 3, диссертационным советом 24.2.411.03, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тверской государственный университет» Министерства науки и высшего образования РФ. Адрес: 170100, г. Тверь, ул. Желябова, 33. Приказ № 423/нк от 12.08.2013 г.

Соискатель – Дунаева Галина Григорьевна, 7 сентября 1998 года рождения, в 2022 году окончила магистратуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тверской государственный университет» по направлению 03.04.02 Физика. В 2025 году окончила аспирантуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тверской государственный университет» по направлению 03.06.01 - Физика и астрономия. В настоящее время работает инженером по подготовке производства акционерного общества «Диэлектрические кабельные системы».

Диссертация выполнена на кафедре физики конденсированного состояния федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тверской государственный университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук, доцент Карпенков Алексей Юрьевич, ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», заведующий кафедрой физики конденсированного состояния.

Официальные оппоненты:

Таскаев Сергей Валерьевич, доктор физико-математических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Челябинский государственный университет», ректор; Каминская Татьяна Петровна, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», научный

сотрудник кафедры общей физики, дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация - федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта», г. Калининград, в своем положительном заключении, утвержденном и.о. ректора БФУ им. И. Канта, кандидатом физико-математических наук, доцентом Деминым Максимом Викторовичем и составленном руководителем образовательно-научного кластера «Институт высоких технологий», доктором физико-математических наук, профессором Юровым Артемом Валериановичем, указала, что диссертация является научно-исследовательской работой, в которой получен ряд важных, принципиально новых научных результатов. Диссертация соответствует требованиям пунктов 9–14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года (в текущей редакции). Автор диссертации, Дунаева Галина Григорьевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.12. Физика магнитных явлений.

Соискатель имеет 12 научных работ, в том числе по теме диссертации – 7 работ, из них 6 статей, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК и индексируемых в базах данных WoS и Scopus:

1. Г.Г. Дунаева, А.Ю. Карпенков. К вопросу об исследовании процессов перемангничивания одноосных магнитных материалов из анализа трансформации их доменной структуры: эксперимент и компьютерное моделирование. // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов. – 2024. – № 16. – С. 96-109. – DOI 10.26456/pcascnn/2024.16.096

2. А.Д. Зигерт, Г.Г. Дунаева, Н.Б. Кузьмин [и др.] Поведение фрактальной размерности доменных структур в феррит-гранатовых пленках. // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов. – 2023. – № 15. – С. 98-107. – DOI 10.26456/pcascnn/2023.15.098.

3. A.Yu. Karpenkov, K.P. Skokov, G.G. Dunaeva [et al.]. Quantitative analyses of surface and bulk magnetization in Nd₂Fe₁₄B and SmCo₅ single crystals: towards understanding the large Neff in nucleation-type magnets. // Journal of Physics D: Applied Physics. – 2022. – Vol. 55, No. 45. – P. 455002. – DOI 10.1088/1361-6463/ac90d2.

4. A.D. Zigert, A.I. Ivanova, G.G. Dunaeva [et al.]. Fractal Dimension Behaviour of Maze Domain Pattern in Ferrite-Garnet Films During Magnetisation Reversal // Journal of Superconductivity and Novel Magnetism. – 2022. – Vol. 35, No. 8. – P. 2187-2193. – DOI 10.1007/s10948-022-06301-w.

5. А.И. Иванова, Е.М. Семенова, Г.Г. Дунаева [и др.]. Влияние дефектов на магнитные характеристики феррит-гранатовых пленок. // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов. – 2020. – № 12. – С. 103-112. – DOI 10.26456/pcascnn/2020.12.103.

6. А.Ю. Карпенков, Г.Г. Дунаева, П.А. Ракунов, Е.М. Семенова. Метод анализа процессов перемагничивания магнетиков по изображениям магнитной доменной структуры. // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов. – 2018. – № 10. – С. 338-344. – DOI 10.26456/pcascnn/2018.10.338.

Подготовка публикаций выполнена соискателем совместно с научным руководителем А.Ю. Карпенковым. Результаты диссертационной работы отражены в опубликованных статьях. Работы выполнены на высоком научном уровне, в диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных работах.

На диссертацию и автореферат поступило 4 отзыва, все положительные:

1. Волегов А.С., к.ф.-м.н., доцент, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», заведующий кафедрой магнетизма и магнитных наноматериалов Института естественных наук и математики. Отмечены два вопроса: о корректности определения зависимости размагничивающего фактора от приведенной намагниченности; уточнение причины «закругления» вместо острого угла между участками роста намагниченности и насыщения.
2. Шапаева Т.Б., к.ф.-м.н., ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», доцент кафедры магнетизма физического факультета. В качестве замечания указаны неточности и опечатки в тексте, отсутствие в подписях к рисункам ссылок на опубликованные работы.
3. Щетинин И.В., к.т.н., ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», доцент кафедры физического материаловедения, заведующий лабораторией «Многофункциональные магнитные наноматериалы». К замечаниям отнесено отсутствие в тексте автореферата детального и количественного описания обнаруженного нового типа доменной структуры.
4. Зубкова А.В., к.ф.-м.н., ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», доцент кафедры общей физики. В качестве пожелания указано, что автору следовало бы привести расчеты кривых намагничивания для высокоанизотропных магнетиков и при другой ориентации, включая ось трудного намагничивания. Так же отмечено наличие стилистических опечаток в тексте автореферата.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что официальные оппоненты и работники ведущей организации являются известными специалистами по теме диссертации, в частности в области физики магнитных явлений, получению и исследованию процессов перемагничивания высокоанизотропных магнитотвердых материалов.

Диссертационный совет отмечает, что выполненные соискателем исследования вносят вклад в изучение процессов перемагничивания и трансформации доменной структуры на поверхности и в объеме магнитоодноосных магнетиков во внешнем изменяющемся магнитном поле. **Разработаны** оригинальные методики исследования и автоматической

обработки данных трансформации доменной структуры на поверхности образцов магнитных материалов во внешних квазистатических и/или динамических магнитных полях с целью изучения процессов перемагничивания приповерхностных слоев. **Предложен** способ определения формы и линейных размеров элементов поверхностной доменной структуры на базисной плоскости магнитоодноосных монокристаллов SmCo_5 и $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ путем сопоставления результатов исследований полей рассеяния поверхностной доменной структуры, полученных методами магнитно-силовой микроскопии и численного моделирования. **Доказано**, что различие хода кривых намагничивания образцов магнитоодноосных монокристаллов заданной формы, рассчитанных из анализа доменной структуры на поверхности и полученных при регистрации интегральных значений намагниченности, связано с неоднородным распределением размагничивающих полей вблизи поверхности образцов.

Теоретическая значимость состоит в том, что результаты диссертационной работы расширяют представления о процессах перемагничивания и формирования доменной структуры высокоанизотропных магнитоодноосных магнитных материалов.

Применительно к проблематике диссертации результативно использован комплексный подход, сочетающий численное моделирование процессов намагничивания с экспериментальными методами исследования динамики доменной структуры, что позволило установить закономерности трансформации магнитных доменов как на поверхности, так и в объёме магнитоодноосных материалов в зависимости от режима приложения внешнего магнитного поля.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что: **разработаны** численные модели, позволяющие строить кривые намагничивания, пространственные распределения намагниченности, индукции и напряженности полей внутри и снаружи моделируемых объектов различной геометрической формы; при перемагничивании монокристаллов SmCo_5 в микросекундном импульсном магнитном поле на базисной плоскости поверхности шлифа **обнаружен** новый тип разветвленной дендритной доменной структуры, ориентация которой обусловлена расположением источника зарождения доменов. Данные исследования имеют особую практическую ценность, обусловленную тем, что поверхностные эффекты играют определяющую роль в формировании коэрцитивной силы – важного параметра магнитных материалов для большинства технических решений.

Оценка достоверности результатов исследования определяется комплексным использованием современных экспериментальных методов, таких как: индукционный метод исследования удельной намагниченности на автоматизированном вибрационном магнитометре, атомно- и магнитно-силовая микроскопия, сканирующая электронная микроскопия, оптическая микроскопия, а также применением современных методов численного

моделирования и средств обработки экспериментальных данных. Основные экспериментальные результаты, полученные автором диссертации, согласуются с известными теоретическими моделями и имеющимися в литературе данными других научных групп.

Личный вклад соискателя состоит в том, что все результаты экспериментов и компьютерного моделирования получены и обработаны лично автором или при его непосредственном участии. Автором лично проведены работы, связанные с разработкой и созданием используемых уникальных экспериментальных методик. Синтез монокристаллических образцов исследования, постановка цели и ключевых задач, обсуждение результатов экспериментов и численного моделирования, формулировка выводов выполнялись автором совместно с научным руководителем. Подготовка публикаций и научных докладов по результатам научных исследований в рамках диссертационной работы осуществлялась совместно с соавторами.

В ходе защиты диссертации были высказаны критические замечания и вопросы о физических законах, лежащих в основе модели индукционного принципа измерения намагниченности вибрационным магнитометром, позволяющей строить полевые зависимости намагниченности изотропных и высокоанизотропных магнитоодноосных магнетиков; о природе дефектов в монокристаллах, приводящих к возникновению нового типа доменной структуры («морозный узор»).

Соискатель Дунаева Галина Григорьевна ответила на задаваемые ей в ходе заседания вопросы и привела собственную аргументацию, что моделирование кривых намагничивания изотропных и высокоанизотропных образцов различной формы проводилось в системе автоматизированного проектирования COMSOL Multiphysics с использованием интерфейса «Магнитного поля» без токовых источников магнитного поля. При решении этих задач используется уравнение Пуассона для векторного магнитного потенциала. Напряжение же, наводимое в измерительных катушках вибрационного магнитометра колеблющимся вблизи них образцом, определяется в соответствии с законом электромагнитной индукции Фарадея и пропорционально магнитному моменту исследуемого объекта.

Касательно природы дефектов монокристаллов необходимо отметить, что в ходе исследований доменной структуры на базисной плоскости монокристалла SmCo_5 после приложения импульсного магнитного поля с длительностью спада импульсного сигнала 15 мкс и амплитудой более 0,6 Тл, была зарегистрирована структура с радиальной выстроенностью доменов, указывающая на область, которая служила их источником. При этом центры зарождения доменной структуры не совпадали с наблюдаемыми на поверхности шлифа дефектами (глубокие царапины, сколы, выкрошенные области и т.п.), что косвенно подтверждает, что основными центрами зародышеобразования являются дефекты кристаллической структуры монокристаллов (дислокации, точечные дефекты и их скопления).

Диссертация соответствует критериям Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 в текущей редакции. На заседании 23.05.2025г. диссертационный совет принял решение присудить Дунаевой Галине Григорьевне ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.12. Физика магнитных явлений за решение актуальной научной задачи, имеющей важное значение для развития отечественных технологий в области создания перспективных магнитных материалов, а именно, за установление взаимосвязи процессов перемангничивания и трансформации доменной структуры на поверхности и в объеме магнитоодноосных материалов.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 12 человек, из них 4 доктора наук по специальности 1.3.12. Физика магнитных явлений, участвовавших в заседании, из 15 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 12, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель
диссертационного совета

Ю.Г. Пастушенков

Ученый секретарь
диссертационного совета

Е.В. Барабанова