

УТВЕРЖДАЮ

Врио проректора по научной  
и инновационной деятельности

Е.В. Пономарев

«16» 06 2026 г.



### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного автономного образовательного учреждения  
высшего образования «Омский государственный технический университет»

Диссертация «Исследование наноструктурированных ферромагнитных пленок методом компьютерного моделирования» выполнена на кафедре «Физика» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Омский государственный технический университет».

В период подготовки диссертации соискатель **Симакова Софья Сергеевна** работала в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Омский государственный технический университет» на кафедре «Физика» в должности ассистента (с сентября 2025 г. по настоящее время).

С 01.10.2024 по настоящий момент Симакова Софья Сергеевна проходит обучение в аспирантуре федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Омский государственный технический университет» по научной специальности 2.4.1. Теоретическая и прикладная электротехника.

Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов выдано в 2026 г. федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Омский государственный технический университет».

Научный руководитель – **Тихомиров Илья Викторович**, к.ф.-м.н., доцент кафедры «Физика» федерального государственного автономного образовательного

учреждения высшего образования «Омский государственный технический университет».

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

#### **Актуальность исследования**

Диссертация на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук «Исследование наноструктурированных ферромагнитных пленок методом компьютерного моделирования» Софьи Сергеевны Симаковой посвящена изучению влияния геометрических параметров решеток пор на магнитные свойства тонких ферромагнитных плёнок, данная тема является актуальной для развития спиновой электроники (спинтроники). В работе рассматривается влияние регулярных решёток наноразмерных пор (антиотечек) на ключевые магнитные характеристики плёнок – температуру Кюри, величину намагниченности, коэрцитивную силу и энергию перемагничивания, а также форму гистерезисной петли. Показано, что изменение геометрических параметров решётки обеспечивает возможность управления магнитными свойствами материала, что важно для многослойных «сэндвич»-систем и проектирования спинтронных компонентов.

Необходимость компьютерного моделирования рассматриваемых систем обоснована. Оно является экономически и временно́ выгодной альтернативой трудоёмким экспериментам. В работе применён метод Монте-Карло для исследования фазовых переходов и процессов перемагничивания в наноструктурированных ферромагнитных плёнках; полученные результаты имеют прикладное значение для проектирования и оптимизации приборов спиновой электроники.

#### **Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации**

Все представленные в диссертации результаты получены автором лично или при его активном участии. Формулировка цели исследования и постановка задач исследования выполнены совместно с научным руководителем. Разработка программного комплекса для расчетов критической температуры и процесса перемагничивания тонких плёнок, компьютерный эксперимент, обработка его

результатов и сравнение с данными реальных экспериментов выполнены автором лично. Обсуждение результатов компьютерного моделирования и написание научных статей выполнено совместно с к.ф.-м.н. И.В. Тихомировым, д.ф.-м.н. С.В. Белимом, д.ф.-м.н. И.В. Бычковым.

### **Степень достоверности результатов проведенных исследований**

Достоверность результатов обоснована адекватностью применяемых методов и подтверждаются сравнением с данными реальных экспериментов. Показано совпадение качественных и количественных характеристик процессов перемангничивания экспериментально исследованных наноструктурированных плёнок.

### **Методология и методы исследования**

Исследование проводилось с помощью метода Монте-Карло с использованием алгоритма Метрополиса и модели Изинга. Для определения магнитных характеристик системы использовалась теория конечноразмерного скейлинга.

**Научная новизна** диссертационной работы заключается в том, что методом моделирования Монте-Карло:

1. Исследованы фазовые переходы в тонких ферромагнитных пленках с регулярной решеткой пор, а также процесс их перемангничивания. Впервые теоретически проведен анализ зависимости вида фазовой диаграммы, как от параметров массива пор, так и от их формы и слабого беспорядка в их расположении;
2. Исследованы фазовые переходы в тонких бислойных ферромагнитных пленках с регулярной решеткой пор, включающих магнитомягкий и магнитотвердый слои. Впервые теоретически изучены фазовые диаграммы и характеристики процесса перемангничивания при различном отношении обменных интегралов слоев пленки и различных параметрах массива пор;
3. Проведен учет влияния поверхностного магнетизма на фазовые переходы в тонких ферромагнитных пленках с регулярной решеткой пор. Впервые теоретически изучено влияние поверхностной магнитной энергии на фазовые диаграммы тонких ферромагнитных пленок с упорядоченным массивом пор.

Впервые получены условия реализации поверхностного фазового перехода в наноструктурированных тонких пленках;

4. Изучено влияние поверхностного магнетизма на процесс перемангничивания тонких ферромагнитных пленок с регулярной решеткой пор. Впервые теоретически показано, что упорядоченный массив пор может приводить к повышению коэрцитивной силы тонких ферромагнитных пленок.

**Практическая и научная значимость** результатов состоит в теоретическом исследовании магнитных свойств ферромагнитных пленок с регулярной решеткой пор, определении зависимости намагниченности и коэрцитивной силы от периода решетки и размера пор. Установлены общие закономерности изменения магнитных характеристик (температуры Кюри, намагниченности, коэрцитивной силы, энергии перемангничивания и формы гистерезисной петли) при варьировании геометрических параметров решётки — формы и размера пор, периода и симметрии.

Практическая значимость работы заключается в том, что полученные закономерности позволяют планировать эксперименты по управляемой модификации магнитных свойств плёнок в однослойных и многослойных наноструктурированных системах. Построенные в работе фазовые диаграммы могут быть использованы для выбора материалов для проектирования и изготовления устройств спинтроники, для учета влияния решетки антиточек на свойства плёнок.

#### **Соответствие диссертации паспорту специальности**

Диссертационная работа соответствует пункту 5 Паспорта специальности 1.3.3. Теоретическая физика: «Теория конденсированного состояния. Изучение различных состояний вещества и физических явлений в них. Статистическая физика. Теория фазовых переходов. Физическая кинетика».

#### **Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем**

Основные результаты исследований по теме диссертационной работы достаточно полно опубликованы 11 изданиях, из них 5 статей в журналах из

списка, рекомендованного ВАК, включая 2 статьи в журналах, индексируемых в международных базах Scopus (Q2) и Web of Science:

1. Belim, S.V. Computer Simulation of Phase Transitions in Thin Films with an Antidote Lattice. / S.V Belim, S.S. Belim, I.V. Tikhomirov, I.V. Bychkov//Coatings. – 2022. – V. 12. – P. 1526. <https://doi.org/10.3390/coatings12101526>
2. Belim, S.V. Effect of disorder on phase transitions in antidote lattice thin films: computer simulations. / S.V. Belim, S.S. Simakova, I.V. Tikhomirov // Letters on Materials. – 2023. – V.13, Is. 4. – P. 304-307.
3. Белим, С.В. Магнитные свойства бислойной пленки с решеткой антиточек: монте-карло-моделирование / С.В. Белим, С.С. Симакова, И.В. Тихомиров // Физика металлов и металловедение. - 2024. - Т. 125. - №12. - С. 1512-1521.
4. Belim, S.V. Effect of surface magnetism on ferromagnetic films with an antidote lattice: Monte Carlo simulation. / S.V. Belim, S.S. Simakova // Letters on Materials. – 2025. – V. 15. – №. 4. – P. 230-235
5. Belim, S.V. Influence of surface magnetism on phase transitions in thin ferromagnetic films with antidot lattice: Monte Carlo simulation. / S.V. Belim, S.S. Simakova // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2026. – V. 645. – P. 173951.

### **Апробация работы**

Основные результаты диссертации докладывались и обсуждались на следующих научных конференциях: Международная конференция «Фазовые переходы, критические и нелинейные эффекты в конденсированных средах», (г. Махачкала, 2023 г. и 2025 г.), Международная научная конференция «Физика и технология перспективных материалов–2023» (г. Уфа, 2023 г.), Международная научная студенческая конференция (г. Новосибирск, 2024 г.), Открытая школа-конференция стран СНГ «Ультрамелкозернистые и наноструктурные материалы» (г. Уфа, 2024 г.), Международная научная конференция «Физика и технология перспективных материалов–2025», (г. Уфа, 2025 г.).

Диссертационная работа «Исследование наноструктурированных ферромагнитных пленок методом компьютерного моделирования» Симаковой Софьи Сергеевны, представленная на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, соответствует требованиям, установленным п. 14 Положения о присуждении ученых степеней. Текст диссертации представляет собой самостоятельную научно-квалификационную работу, не содержит заимствованного материала без ссылки на автора и (или) источник заимствования. Диссертационное исследование не содержит результатов научных работ, выполненных в соавторстве, без ссылок на соавторов.

Диссертация «Исследование наноструктурированных ферромагнитных пленок методом компьютерного моделирования» Симаковой Софьи Сергеевны содержит решение проблем, имеющих значение для теоретической физики, и рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3. Теоретическая физика.


Заключение принято на расширенном заседании кафедры «Физика» ОмГТУ.

Присутствовало на заседании 20 чел., 3 приглашенных докторов наук, специалистов по теоретической физике.

Результаты голосования: «за» – 23 чел., «против» – 0 чел., «воздержалось» – 0 чел., протокол №9 от 09.06.2026 г.

Зав. кафедрой «Физика»

д.т.н., доцент

 О.В. Кропотин

  
Подпись Кропотина О.В. заверено  
И.О. начальника И.А. Якаева И.А.  
10.06.2026