

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 10.04.2026 г. №4

О присуждении Ракунову Павлу Андреевичу, гражданину РФ, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Особенности процессов перемангничивания и температурная стабильность высококоэрцитивного состояния гетерогенных сплавов R-Zr-Co-Cu-Fe (R = Sm, Gd)» в виде рукописи по специальности 1.3.12. Физика магнитных явлений принята к защите 09.02.2026, протокол № 2, диссертационным советом 24.2.411.03, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тверской государственной университет» Министерства науки и высшего образования РФ. Адрес: 170100, г. Тверь, ул. Желябова, 33. Приказ № 423/нк от 12.08.2013 г.

Соискатель – Ракунов Павел Андреевич, 31 мая 1998 года рождения, в 2022 году окончил магистратуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тверской государственной университет» по направлению 03.04.02 Физика. В 2026 году досрочно окончил аспирантуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тверской государственной университет» по специальности 1.3.12. Физика магнитных явлений. В настоящее время работает старшим преподавателем кафедры физики конденсированного состояния федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тверской государственной университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

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

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

**Официальные оппоненты:**

Ховайло Владимир Васильевич, доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры функциональных наносистем и

высокотемпературных материалов ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»; Прокофьев Павел Александрович, кандидат технических наук, ФГБУН Институт металлургии и материаловедения им. А. А. Байкова РАН, научный сотрудник лаборатории физикохимии тугоплавких и редких металлов и сплавов (№12) 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 ректором, 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-квалификационной 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 Ракунов Павел Андреевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.12. Физика магнитных явлений.

**Соискатель имеет** 28 научных работ, в том числе по теме диссертации – 6 работ, из них 4 статьи в журналах, входящих в перечень ВАК и приравняемых к ним, 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ и 1 патент на полезную модель:

1. Ляхова М.Б., Семенова Е.М., Ракунов П.А., Карпенков А.Ю., Синкевич А.И., Фёдоров М.В. Структура и магнитные свойства сплавов  $(R,Zr)(Co,Cu,Fe)_Z$  ( $R = Sm, Gd$ ) // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов. – 2023. – №. 15. – С. 169-177.

2. Семенова Е.М., Ляхова М.Б., Ракунов П.А., Карпенков А.Ю., Конюхов Ю.В. Механизмы магнитного гистерезиса гетерогенных сплавов типа Gd-Zr-Co-Cu-Fe // Известия Российской академии наук. Серия физическая. – 2024. – Т. 88. – №. 5. – С. 840-846.

3. Ракунов П.А., Ляхова М.Б., Семенова Е.М., Карпенков А.Ю. Магнитные свойства и процессы перемагничивания сплавов Sm-Gd-Zr-Co-Cu-Fe // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов. – 2024. – №. 16. – С. 258-266.

4. Карпенков А.Ю., Ракунов П.А., Ляхова М.Б., Семенова Е.М., Пастушенков Ю.Г. Особенности магнитной вязкости и процессов перемагничивания гетерогенного сплава  $Gd_{0,85}Zr_{0,15}(Co_{0,7}Cu_{0,09}Fe_{0,21})_{6,0}$  // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов. – 2025. – №. 17. – С. 77-91.

Подготовка публикаций выполнена соискателем совместно с научным руководителем А.Ю. Карпенковым. Результаты диссертационной работы

полностью отражены в опубликованных статьях. Работы выполнены на высоком научном уровне, в диссертации не выявлены недостоверные сведения об опубликованных работах.

На диссертацию и автореферат поступило 4 отзыва, все положительные:

1. Комогорцева С.В., д.ф.-м.н., доцента, заведующего лабораторией физики магнитных пленок Института физики им. Л.В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук – обособленного подразделения ФИЦ КНЦ СО РАН. Замечания отсутствуют.

2. Горшенкова М.В., к.т.н., доцента кафедры физического материаловедения ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС». Замечания отсутствуют.

3. Волегова А.С., к.ф.-м.н., заведующего кафедрой магнетизма и магнитных наноматериалов Института естественных наук и математики ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина». Имеются вопросы, касающиеся того, как более высокая спонтанная намагниченность сплавов с самарием влияет на их повышенную магнитную вязкость по сравнению с гадолиниевыми аналогами, а так же причин различия коэрцитивной силы сплавов  $Gd_{0,85}Zr_{0,15}(Co_{0,70}Cu_{0,09}Fe_{0,21})_{6,1}$  и  $Gd_{0,81}Zr_{0,19}(Co_{0,7}Cu_{0,1}Fe_{0,2})_{5,16}$ , несмотря на их одинаковые термообработки.

4. Щетинина И.В., к.т.н., зав. лабораторией «Многофункциональные магнитные наноматериалы», доцента кафедры физического материаловедения ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС». Имеются вопросы, касающиеся выбора метода исследования магнитной вязкости сплавов по кривым размагничивания, а также проведения измерений петель гистерезиса после нагрева до 727 °С на образцах других сплавов, отличных от  $Gd_{0,85}Zr_{0,15}(Co_{0,70}Cu_{0,09}Fe_{0,21})_{6,2}$ .

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 материалов.

**Диссертационный совет отмечает**, что полученные соискателем результаты вносят существенный вклад в понимание процессов формирования высококоэрцитивного состояния и его температурной стабильности в гетерогенных сплавах R-Zr-Co-Cu-Fe (R = Sm, Gd). **Выявлены** и детально проанализированы индуцированные магнитным полем и тепловым воздействием релаксационные эффекты - магнитная вязкость и термическое намагничивание. **Доказано**, что в сплавах  $R_{0,85}Zr_{0,15}(Co_{0,70}Cu_{0,09}Fe_{0,21})_z$ , где R= Gd, Sm, реализуется смешанный механизм магнитного гистерезиса, обусловленный одновременным протеканием процессов обратимого и необратимого вращения вектора намагниченности и смещения доменных границ в низкоанизотропных областях их структурных составляющих. **Установлено**, что кривые намагничивания образцов сплавов после размагничивания знакопеременным полем убывающей амплитуды сильно отличаются от кривых намагничивания после размагничивания обратным

полем не только наклоном, но и четко различимыми перегибами, соответствующими значениям полей в зазоре электромагнита в процессе размагничивания.

**Теоретическая значимость** работы состоит в том, что ее результаты расширяют представления о процессах перемагничивания, температурной и временной стабильности гистерезисных характеристик литых постоянных магнитов со смешанным механизмом магнитного гистерезиса. **Применительно к проблематике диссертации результативно использован** комплементарный подход, сочетающий измерение магнитных свойств и наблюдение трансформации магнитной доменной структуры, к изучению процессов перемагничивания сплавов  $(R,Zr)(Co,Cu,Fe)_z$  с  $R = Sm$  и  $Gd$ .

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики** определено раскрытием природы эффектов магнитной вязкости и термического намагничивания сплавов  $(R,Zr)(Co,Cu,Fe)_z$ , что представляет интерес для практического использования их в качестве высокотемпературных литых постоянных магнитов. **Обнаружено**, что магнитная вязкость сплавов обусловлена термоактивируемым преодолением доменными границами наноструктурных барьеров, наблюдаемым преимущественно в структурной составляющей, обогащенной медью. Наибольший эффект термического намагничивания зафиксирован у образцов с высоким содержанием 3d-металлов, в которых низкокоэрцитивные центральные области определяют рост намагниченности при нагреве после размагничивания обратным полем.

**Оценка достоверности** результатов исследования определяется комплексным использованием современных экспериментальных методов, таких как: рентгенофазовый анализ, атомно- и магнитно-силовая микроскопии, магнитооптическая микроскопия, индукционный метод измерения полевых зависимостей намагниченности; а также применением современных средств обработки экспериментальных данных. Все основные выводы не противоречат базовым представлениям физики магнитных явлений. Установлено, что полученные автором диссертации экспериментальные результаты согласуются с теоретическими моделями.

**Личный вклад соискателя** включает работу по созданию автоматизированного вибрационного магнитометра с интегрированной температурной приставкой, проведение синтеза и термических обработок, исследований температурных и полевых зависимостей магнитных свойств сплавов, обработку экспериментальных данных и написание текста публикаций по результатам проведенных исследований совместно с соавторами работ.

**В ходе защиты диссертации были высказаны критические замечания и вопросы** касательно выбора редкоземельных металлов и концентраций  $z$  для сплавов  $(R,Zr)(Co,Cu,Fe)_z$  с  $Sm$  и  $Gd$ , а также причин различия конфигураций доменных структур высококоэрцитивных образцов, размагниченных разными методами.

Соискатель Ракунов Павел Андреевич ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию о том, что выбор

химического состава исследованных сплавов обусловлен изменением в широких пределах фазового состава и гистерезисных характеристик: сплавы с  $R=Sm$  являются ферромагнетиками, обладают высокой намагниченностью, коэрцитивной силой и энергетическим произведением; сплавы с  $R=Gd$  – ферримагнетики и характеризуются положительным температурным коэффициентом индукции. Различия в  $z$  связаны с трудностью точного совпадения состава сплавов со стехиометрией шихты.

Касательно различий в доменной структуре высококоэрцитивных образцов, размагниченных двумя методами: размагничивание переменным полем убывающей амплитуды создает термодинамически устойчивую доменную структуру, тогда как термическое размагничивание при  $800\text{ }^{\circ}\text{C}$  разрушает ячеистую наноструктуру сплавов, резко снижая коэрцитивную силу и формируя доменную структуру низкокоэрцитивных материалов.

Диссертация соответствует паспорту специальности 1.3.12. Физика магнитных явлений по пп. 3 и 4 и критериям Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 в текущей редакции. На заседании 10.04.2026 г. диссертационный совет принял решение присудить Ракунову Павлу Андреевичу ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.12. Физика магнитных явлений за решение актуальной научной задачи комплексного изучения процессов перемагничивания, высокотемпературного поведения и релаксационных явлений сплавов  $(R,Zr)(Co,Cu,Fe)_z$  с  $R=Sm$  и  $Gd$ , имеющей значение для расширения их практического применения в качестве высокотемпературных литых постоянных магнитов.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 13 человек, из них 5 докторов наук по специальности 1.3.12. Физика магнитных явлений, участвовавших в заседании, из 15 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 13, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель  
диссертационного совета

Ю.Г. Пастушенков

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Е.В. Барабанова

10.04.2026 г.