

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.404.02, созданного на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский федеральный университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК аттестационное дело № \_\_\_\_\_ решение диссертационного совета от **28.02.2024** г. № **6**

О присуждении Пьянкову Владимиру Федоровичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка целевой композиции на базе наночастиц оксида железа для магниторезонансной гипертермии опухолевых клеток» по специальностям 2.6.5 – Порошковая металлургия и композиционные материалы и 1.3.12 Физика магнитных явлений принята к защите 20.12.2023 г. (протокол № 6.2) диссертационным советом 24.2.404.02, созданным на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский федеральный университет», Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 660041, пр. Свободный, 79, г. Красноярск. Приказ о создании диссертационного совета № 714/нк от 02.11.2012.

Соискатель Пьянков Владимир Федорович, 03.07.1991 года рождения. В 2019 году соискатель окончил очную аспирантуру ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», работает младшим научным сотрудником в отделе «Международный научный центр исследования экстремальных состояний организма» Федерального исследовательского центра Красноярского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнялась в отделе «Международный научный центр исследования экстремальных состояний организма», ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» Министерства науки и высшего образования

Российской Федерации и на кафедре физики ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – Столяр Сергей Викторович, доктор физико-математических наук, доцент, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», отдел «Международный научный центр исследования экстремальных состояний организма», заведующий отделом; Научный консультант – Ли Оксана Анатольевна, кандидат технических наук, ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», кафедра физики, доцент.

Официальные оппоненты: Семиров Александр Владимирович – доктор физико-математических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет», кафедра физики, заведующий кафедрой; Харин Евгений Васильевич – кандидат технических наук, ФГБУН Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук, лаборатория конструкционных сталей и сплавов им. Академика Н.Т. Гудцова (№7), старший научный сотрудник – дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация ФГБУН «Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», г. Пермь, в своем положительном заключении, подписанном Райхером Юрием Львовичем, доктором физико-математических наук, профессором, главным научным сотрудником лаборатории динамики дисперсных систем Института механики сплошных сред, и Мизёвым Алексеем Ивановичем, доктором физико-математических наук, директором Института механики сплошных сред, указали, что диссертация удовлетворяет требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней».

Соискатель имеет 26 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 16 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 6 работ. Получен патент на изобретение. В диссертационной работе отсутствуют недостоверные сведения о публикациях. В публикациях, включенных в список основных по теме диссертации и подготовленных в соавторстве, вклад диссертанта (постановка целей, анализ

полученных результатов, формулирование выводов, оформление рукописей печатных работ) оценивается не менее 60 %. Наиболее значительные работы:

1. Stolyar S.V. Influence of magnetic nanoparticles on cells of Ehrlich ascites carcinoma / Stolyar S.V., Kryukova O.V., Yaroslavtsev R.N., Pyankov V.F., Latyshev N.V., Bayukov O.A., Knyazev Yu.V., Gerasimova Yu.V., Shestakov N.P. // AIP Advances. 2021. Т. 11, № 1. С. 015019.

2. Столяр С. В. Эффективный способ магнитной гипертермии, основанный на явлении ферромагнитного резонанса / Столяр С. В., Ли О. А., Николаева Е. Д., Пьянков В. Ф., Воротынов А. М., Великанов Д. А., Князев Ю. В., Баюков О. А., Исхаков Р. С., Волочаев М. Н. // Физика металлов и металловедение. 2023. Т. 124, №2. С. 1-8.

3. Столяр С.В. Нагрев магнитных порошков в режиме ферромагнитного резонанса на частоте 8.9 ГГц / Столяр С.В., Ли О.А., Николаева Е.Д., Боев Н.М., Воротынов А.М., Великанов Д.А., Исхаков Р.С., Пьянков В.Ф., Князев Ю.В., Баюков О.А., Шохрина А.О., Молокеев М.С., Васильев А.Д. // Физика твердого тела. 2023. Т. 65, №6. С. 1006-1013.

4. Столяр С. В. Микроволновый нагрев порошков окисленного железа в режиме ферромагнитного резонанса / Столяр С. В., Николаева Е.Д., Ли О.А., Великанов Д.А., Воротынов А.М., Пьянков В.Ф., Ладыгина В.П., Сухачев А.Л., Балаев Д.А., Исхаков Р.С. // Материаловедение 2023. №9. С.10.

5. Важенина И.Г. Исследование магнитных наночастиц оксида железа, покрытых оксидом кремния, методом ферромагнитного резонанса / Важенина И.Г., Столяр С.В., Тюменцева А.В., Волочаев М.Н., Исхаков Р.С., Комогорцев С.В., Пьянков В.Ф., Николаева Е.Д. // Физика твердого тела. 2023 Т. 65, № 6. С. 923-927.

6. Stolyar S. V. Preparation and properties of magnetic composites  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub>/Aptamer(FAS9) for magnetic resonance hyperthermia / Stolyar S. V., Li O. A., Nikolaeva E. D., Vorotyнов A. M., Velikanov D. A., Knyazev Yu. V., Bayukov O. A., Iskhakov R. S., Kryukova O. V., Pyankov V. F., Volochaev M. N.,

and Mokhov A. A. // Physics of Metals and Metallography, 2023, DOI: 10.1134/S0031918X23601439.

7. Столяр С.В. Патент №2812581 Российская Федерация. Способ угнетения роста опухолевых клеток с помощью магниторезонансной гипертермии и таргетированных аптамерами магнитных наночастиц / Столяр С.В., Ли О.А., Великанов Д.А., Воротынов А.М., Николаева Е.Д., Тюменцева А.В., Крюкова О.В., Пьянков В.Ф., Исхаков Р.С.; заявитель ФИЦ КНЦ СО РАН.

На диссертацию и автореферат поступило 6 отзывов, все отзывы положительные: Ринкевич А.Б. д-р физ.-мат. наук, чл.-кор. РАН, ИФМ УрО РАН (г. Екатеринбург); Самардак А.Ю. канд. физ.-мат. наук, ДВФУ (г. Владивосток); Фионов А.С. канд. тех. наук, ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН (г. Москва); Гаврилюк А.А. д-р физ.-мат. наук, ИГУ (г. Иркутск); Тагиров Л.Р. д-р физ.-мат. наук, ФИЦ КазНЦ РАН (г. Казань); Добрецов К.Г. д-р мед. наук, медицинский центр «Столица» (г. Москва).

В отзывах на автореферат содержатся замечания уточняющего и рекомендательного характера. Критических замечаний нет.

Выбор официальных оппонентов обосновывается их компетентностью и наличием значительного количества публикаций по теме диссертации. Семиров Александр Владимирович, доктор физико-математических наук, хорошо известен как специалист в области магнитных свойств твердых тел и композитов. Харин Евгений Васильевич, кандидат технических наук, является специалистом в области материаловедения металлических сплавов.

Ведущая организация ФГБУН «Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук» (г. Пермь) широко известна своими научными достижениями в области исследования и разработки функциональных порошковых материалов и композитов на их основе и способна определить научную и практическую ценность диссертации.

**Диссертационный совет отмечает**, что на основании выполненных соискателем исследований: *разработана* новая методология магнитной гипертермии опухолевых клеток, заключающаяся в использовании явления

ферромагнитного резонанса для нагрева магнитных наночастиц на основе оксидов железа; *предложен* способ изготовления таргетной композиции для магниторезонансной гипертермии, заключающийся в подборе ядра композиции с последующим покрытием его инертной оболочкой из оксида кремния ( $\text{SiO}_2$ ) с функциональными группами ( $\text{NH}_2$ ) на ее поверхности, к которым прикреплены аптамеры, комплементарные модельной опухоли; *доказана* перспективность использования таргетной композиции  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2/\text{NH}_2/\text{FAS9}$  в роли медиатора нагрева в режиме ферромагнитного резонанса для снижения жизнеспособности опухолевых клеток; *введено* новое понятие магниторезонансной гипертермии.

**Теоретическая значимость исследования** обоснована тем, что: *доказано*, что приращение температуры в режиме ферромагнитного резонанса определяется намагниченностью насыщения ( $M_s$ ) материала и линейно зависит от квадрата напряженности магнитной составляющей ( $h^2$ ) СВЧ поля; применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) *использован* комплекс современных методов исследования: электронная просвечивающая микроскопия, мессбауэровская спектроскопия, вибрационная магнитометрия, ферромагнитный резонанс, проточная цитометрия, термометрия с помощью термопары Т-типа, статистическая обработка результатов экспериментов; *изложена* идея использования явления ферромагнитного резонанса для нагрева порошковых систем на основе оксидов железа, включающая в себя процесс изготовления таргетной композиции  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2/\text{NH}_2/\text{FAS9}$ , выступающий в роли медиатора нагрева для магниторезонансной гипертермии опухолевых клеток; *раскрыты* структурные особенности порошков на основе оксидов железа, определяющие эффективность их нагрева в режиме ферромагнитного резонанса; *изучено* влияние магнитных и размерных характеристик порошковых систем на основе оксида железа на эффективность их нагрева в режиме ферромагнитного резонанса; *проведена модернизация* метода магнитной гипертермии с использованием порошковых систем, за счет использования явления естественного ферромагнитного резонанса.

Результаты диссертационного исследования рекомендуется использовать для нагрева порошковых систем на основе оксидов железа в режиме ферромагнитного резонанса в области биомедицины.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики** подтверждается тем, что: *разработана* новая технология гипертермии – магниторезонансная гипертермия с использованием таргетной композиции ( $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2/\text{NH}_2/\text{FAS9}$ ) в качестве медиатора нагрева; *определены* перспективы практического использования явления ферромагнитного резонанса для нагрева порошковых систем на основе оксида железа; *создан* задел по практическим рекомендациям изготовления таргетной композиции для магниторезонансной гипертермии на основе оксида железа, в которой показано влияние как характеристик воздействия, так и ядра композиции на эффективность нагрева; *представлены* рекомендации по подбору характеристик порошковых систем на основе оксида железа и условий воздействия для повышения эффективности их нагрева в режиме ферромагнитного резонанса.

**Оценка достоверности результатов исследования** выявила:

*для экспериментальных работ* все научные результаты получены с использованием сертифицированного оборудования и актуализированных методик; *теория* построена на известных, проверяемых данных о явлении ферромагнитного резонанса и согласуется с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации; *идея базируется* на анализе практики использования явления ферромагнитного резонанса в порошковых системах; *использованы* сравнения авторских данных и данных, полученных ранее по рассматриваемой тематике; *установлено* качественное и количественное совпадение авторских результатов с результатами, представленными в независимых источниках по рассматриваемой тематике; *использованы* современные методики сбора и обработки исходной информации, представительные выборочные совокупности с обоснованием подбора объектов наблюдения и измерения.

