

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«БАЛТИЙСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. И. КАНТА»

УТВЕРЖДАЮ



Федоров А.А.

19.06.2023

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования
«Балтийский федеральный университет им. И. Канта»

Богайчук Александр Вячеславович в 2013 г. окончил ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет им. И. Канта», Физико-технический институт, по специальности «Радиофизика и электроника».

С 01.09.2013 г. по 31.08.2017 г. обучался в аспирантуре по специальности 01.04.03 «Радиофизика» и работал над проблемой создания портативного ЯМР анализатора веществ, на базе хальбовской магнитной системы в лаборатории магнитно-резонансных методов исследования вещества. Научный руководитель – д.ф.-м.н. Куприянова Галина Сергеевна, профессор ОНК «Институт высоких технологий» БФУ им. И. Канта, доцент.

С 2017 г по 2023 Богайчук А.В. работал в ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», в должностях инженера и младшего научного сотрудника.

Диссертационная работа Богайчука А.В. «Корреляционный метод оценки времен спин-спиновой и эффективной спин-спиновой релаксации и аппаратный комплекс ЯМР-релаксометрии для анализа твердотельных полимеров» была рассмотрена на расширенном заседании ученого совета Института высоких технологий БФУ им. И. Канта.

По итогам обсуждения диссертации «Корреляционный метод оценки времен спин-спиновой и эффективной спин-спиновой релаксации и аппаратный комплекс ЯМР-релаксометрии для анализа твердотельных полимеров» принято следующее заключение.

1. Актуальность

Наиболее важной задачей при создании новых композитных материалов является диагностика и контроль состояния материалов, установление связи между их микроскопическими и макроскопическими функциональными характеристиками. Для улучшения качества конечных продуктов производства часто возникает необходимость изменять и контролировать химический состав полимера, влиять на технологические процессы при их производстве. Однако существующие стандартные методы морфологического и механического анализа полимеров предполагают исследования, в основном, макропараметров, либо исследуют состояние поверхности с сохранением самого материала, либо объема и состава изделия, подвергая его разрушению в ходе исследования. Также большая часть химических и механических методов имеет привязку к лабораторному использованию, что затрудняет анализ изделия непосредственно на месте эксплуатации. Следовательно, возникает необходимость в методах контроля «текущего состояния» материалов в производственном процессе, без разрушающего воздействия в ходе анализа.

Наиболее эффективным методом изучения структуры, бесконтактным инструментом контроля структуры полимеров может выступать релаксометрия ядерного магнитного резонанса (ЯМР), так как она удовлетворяет условиям портативности и сохранения материала в ходе исследования. Метод ЯМР показывает хорошую корреляцию экспериментальных данных с данными, полученными традиционными методами механического и химического анализа. Однако интерпретация ЯМР релаксационных данных при изучении многокомпонентной системы полимеров не всегда однозначна. В настоящее время ЯМР-релаксометрия применяется, в основном, как качественный метод анализа в предположении упрощенной однокомпонентной системы или для наблюдения существенных и необратимых изменений в системе (например, изменение агрегатного состояния вещества или его разрушение под воздействием агрессивной среды). Значительный прогресс достигнут при применении математических методов обработки данных. Например, применение обратного преобразования Лапласа к экспериментальным результатам ЯМР-релаксометрии позволяет выделять различные компоненты сигнала. Это, в частности, позволяет получать корреляцию между распределением времен релаксации протонов в полимерах и такими параметрами как плотность сшивки, температура стеклования. Также времена ядерной магнитной релаксации оказываются чувствительными к химическому составу образца, позволяя разделять различные компоненты системы и/или отслеживать химические реакции.

Таким образом, несмотря на уже существенные достижения ЯМР-релаксометрии в исследовании твердотельных полимеров, применение новых методов регистрации и обработки ЯМР данных, а также разработка новых экспериментальных комплексов может позволить повысить

информативность получаемых результатов, а также перейти к извлечению количественных показателей качества продукции на основе ЯМР данных, к получению оценок воздействия деструктивных факторов на исследуемые образцы.

Исходя из вышеизложенного, актуальность темы диссертационного исследования Богайчука А.В. не вызывает сомнений.

2. Научная новизна работы

1. Разработан, реализован и испытан новый аппаратный комплекс модульного исполнения для проведения экспериментов ЯМР с возможностью перестройки частоты от 0,5 до 500 МГц и цифровым квадратурным детектированием сигнала.

2. Разработан и реализован новый способ улучшения однородности магнитного поля в сборке Хальбаха из постоянных магнитов за счет учета неидеальности магнитных материалов, без создания систем дополнительной подстройки поля или шиммирующих магнитных полей.

3. Разработан и экспериментально реализован новый корреляционный метод оценки времен спин-спиновой и эффективной спин-спиновой релаксаций T_2 - $T_{2эф}$.

3. Теоретическая значимость

В диссертационной работе проведено математическое моделирование магнитных полей в системах, собранных из постоянных магнитов. Представлены теоретические оценки влияния производственных дефектов постоянных магнитов на однородность магнитного поля внутри магнитной сборки Хальбаха.

4. Практическая значимость

1. Разработанный аппаратный комплекс ЯМР, использующий компактную магнитную систему на основе сборки Хальбаха, а также методика подбора конфигурации магнитов с учетом неидеальности материалов, позволяющая получить наилучшую однородность магнитного поля, могут быть использованы в развитии новых или усовершенствования существующих технологий и наукоёмких производств ЯМР-релаксометров.

2. Разработанный экспериментальный метод корреляционной оценки времен спин-спиновой и эффективной спин-спиновой релаксаций T_2 - $T_{2эф}$ может быть использован для получения дополнительной информации об исследуемых образцах методами ЯМР-релаксометрии твердого тела для совершенствования методов диагностики.

3. Представленный в работе код обратного преобразования Лапласа для обработки данных от двумерных корреляционных экспериментов ЯМР-

релаксометрии на основе программы RILT может быть использован в исследованиях широкого спектра образцов методами ЯМР.

5. Соответствие диссертации научной специальности

Диссертационная работа соответствует пунктам п. 1, п. 3, п. 4 паспорта специальности 2.2.8 – Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды. В работе дано научное обоснование новых и совершенствование существующих методов, аппаратных средств и технологий контроля, диагностики материалов, веществ, способствующее повышению надёжности изделий и экологической безопасности окружающей среды; представлены разработка и испытания методов для контроля и диагностики полимерных материалов; разработано математическое, программное, приборное обеспечение ЯМР аппаратного комплекса для систем технического контроля и диагностирования материалов.

6. Личный вклад автора

Разработка магнитной системы, ее моделирование, а также экспериментальные исследования влияния разрушающих факторов, таких как ультрафиолетовое излучение, воздействие озона и деформации растяжением на времена ЯМР релаксации различных твердотельных полимерных материалов, а также разработка импульсной последовательности $T_2-T_{2\text{эф}}$ были выполнены в НИЛ магнитно-резонансных методов исследования вещества Физико-технического института Балтийского федерального университета имени И. Канта.

В НИЛ Магнитной радиоспектроскопии и квантовой электроники им. С.А. Альтшулера Института физики Казанского (Приволжского) федерального университета были получены экспериментальные данные с применением корреляционных методов ЯМР-релаксометрии и произведен аппаратный комплекс, представленные в работе.

В представленном аппаратном комплексе автором был реализован блок формирования импульсов и регистрации сигнала, разработана и реализована магнитная сборка Хальбаха. Произведено моделирование и апробирование метода улучшения однородности магнитного поля внутри магнитной сборки Хальбаха с учетом неидеальности магнитных материалов.

Автором был предложен и реализован экспериментальный корреляционный метод $T_2-T_{2\text{эф}}$ для ЯМР-релаксометрии твердого тела.

Непосредственно автором были проведены все экспериментальные измерения, выполненные методами ЯМР, а также обработка полученных данных методами обратного преобразования Лапласа. Проведены анализ и интерпретация данных полученных из корреляционных экспериментов ЯМР.

7. Полнота изложения результатов диссертации в работах, опубликованных автором

Основное содержание работы отражено в 4 статьях в международных журналах, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus, получен 1 патент на изобретение. Результаты работы были представлены на 4 международных конференциях в виде устных и стендовых докладов.

Статьи в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в международных базах данных Web of Science и/или Scopus

1. Kuzmin, V.V. The home-built high-field multifunctional pulsed NMR spectrometer / V.V. Kuzmin, A.V. Bogaychuk, I.K. Nekrasov, K.R. Safiullin, M.H. Salakhov, E.M. Alakshin, A.V. Klochkov, M.S. Tagirov // *Magnetic Resonance in Solids*. – 2019. – V. 21. – 19104.

2. Bogaychuk, A.V. Accounting for material imperfections in the design and optimization of low cost Halbach magnets /, V.V. Kuzmin // *Review of Scientific Instruments* – 2020. – V. 91(10) – 103904.

3. Bogaychuk, A. Investigation of Polymer Degradation Using NMR Relaxometry with Inverse Laplace Transformation/ A. Bogaychuk, N. Sinyavsky, G. Kupriyanova // *Applied Magnetic Resonance* – 2016. – V. 47. – P. 1409-1417.

4. Bogaychuk, A.V. Special Features of the Transverse Relaxation Time Distributions of NMR-Protons for Different Measurement Methods / A.V. Bogaychuk, I.G. Mershev, N.Y. Sinyavsky, G.S. Kupriyanova, // *Russian Physics Journal* – 2018. – V.61. – P.801-803.

Патенты и авторские свидетельства

5. Способ оценки времени спин-спиновой релаксации в твердом теле: пат. RU 2680725 Рос. Федерация: МПК G 01 N 24/00 / Богайчук А.В., Мершиев И.Г.; патентообладатель Калининград, БФУ им. И. Канта - № 2018104777; заявл. 07.02.2018; опубл. 26.02.2019 Бюл. № 6.

Тезисы конференций

6. $T_2 \times T_{2\text{eff}}$ Low-Field NMR-Relaxometry for Solids / A. V. Bogaychuk, T. H. Farkhutdinov // *Book of Abstracts, International conference Modern Development of Magnetic Resonance 2021, Kazan, Nov. 1 - 5, 2021. - Kazan, 2020. - P. 167.*

7. The new pulse sequence for Time Domain NMR for diamagnetic solids / A. Bogaychuk, T. Farkhutdinov // *Book of Proceedings, 19th International School-Conference Magnetic Resonance and Its Applications, Kazan, Mar. 28 - Apr. 1, 2022 - Saint Petersburg, 2022. - P. 60.*

8. Богайчук А.В. Методика $T_{2\text{эф}}$ - T_2 для анализа твердотельных диамагнетиков // *Сборник избранных тезисов, Итоговая научно-практическая*

конференция профессорско-преподавательского состава института физики и химического института имени А.М. Бутлерова казанского федерального университета, Казань, Янв. 23 – Фев. 03, 2023. Казань, 2023. – с.43.

9. Accounting Material Imperfections in the Design of Halbach Magnets A. Bogaychuk, V. Kuzmin// Book of Abstracts, International conference Modern Development of Magnetic Resonance 2020, Kazan, Sept. 20 - Oct. 2, 2020. - Kazan, 2020. - P. 50.

8. Степень достоверности и апробация работы:

Все разработанные приборные модули и приборы в целом были калиброваны с использованием сертифицированного измерительного оборудования.

Достоверность полученных экспериментальных результатов подтверждается их повторяемостью, а также согласованием результатов со сторонними методами анализа и данными, опубликованными другими научными группами.

Основные результаты работы докладывались на различных международных конференциях: International conference Modern Development of Magnetic Resonance 2020 (Казань, 2020), International conference Modern Development of Magnetic Resonance 2021 (Казань, 2021), 19th International School-Conference Magnetic Resonance and its Applications (Санкт-Петербург, 2022), а также на итоговых конференциях Казанского (Приволжского) федерального университета.

9. Ценность научных работ соискателя

Ценность научных работ соискателя заключается в том, что в них изложены следующие основные результаты диссертации:

1. Описан реализованный аппаратный комплекс модульного исполнения для проведения экспериментов ЯМР с возможностью перестройки частоты от 0,5 до 500 МГц и цифровым квадратурным детектированием сигнала.

2. Описана конструкция магнитной сборки Хальбаха (размерами 40x40x102 мм³ и весом 0,6 кг) на основе 8 постоянных магнитов в виде параллелепипедов с квадратным сечением.

3. Представлена и апробирована методика экспериментальной подборки конфигурации постоянных магнитов в магнитной сборке Хальбаха с учетом неидеальности материалов с целью достижения наилучшей возможной однородности магнитного поля.

4. Описан экспериментальный метод корреляционной оценки времен спин-спиновой и эффективной спин-спиновой релаксаций T_2 - $T_{2\text{эф}}$.

10. Заключение

Диссертационная работа Богайчука Александра Вячеславовича «Корреляционный метод оценки времен спин-спиновой и эффективной спин-спиновой релаксации и аппаратный комплекс ЯМР-релаксометрии для анализа твердотельных полимеров» является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, в которой содержится решение задачи, имеющей существенное значение для развития теории и практики неразрушающего контроля веществ.

Диссертация обобщает самостоятельные исследования автора, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые на защиту, свидетельствует о личном вкладе автора в науку.

Ученый совет Института высоких технологий БФУ им. И. Канта считает, что представленная диссертационная работа Богайчука Александра Вячеславовича «Корреляционный метод оценки времен спин-спиновой и эффективной спин-спиновой релаксации и аппаратный комплекс ЯМР-релаксометрии для анализа твердотельных полимеров» соответствует требованиям, предъявляемым Положением о присуждении ученых степеней Российской Федерации, и может быть рекомендована к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.8 – Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды.

Заключение принято на расширенном заседании Ученого совета Института высоких технологий БФУ им. И. Канта.

Присутствовало на заседании 24 чел. Результаты голосования: «за» – 24 чел., «против» – 0 чел., «воздержалось» – 0 чел., протокол №5 от «16» июня 2023 г.

Председатель Ученого Совета,
руководитель образовательно-научного кластера
«Институт высоких технологий»
д.ф.-м.н., профессор Юров А.В.
8-905-240-99-95, AIUrov@kantiana.ru,
236041, г. Калининград, ул. А. Невского, 14



Секретарь Ученого Совета,
заместитель руководителя образовательно-научного кластера
«Институт высоких технологий» по развитию студенческого
потенциала
Тарачков М.В.
8-921-263-13-21, MTarachkov1@kantiana.ru,
236041, г. Калининград, ул. А. Невского, 14

У Т В Е Р Ж Д А Ю
Первый проректор – проректор
по научной деятельности
ФГАОУ ВО «Казанский
(Приволжский) федеральный
университет» профессор
Д.А. Таюрский

“ 20 ” июня 2023 г.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»
19 июня 2023 г.

Диссертация «Корреляционный метод оценки времен спин-спиновой и эффективной спин-спиновой релаксации и аппаратный комплекс ЯМР-релаксометрии для анализа твердотельных полимеров» была частично выполнена на кафедре квантовой электроники и радиоспектроскопии Института физики ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет».

В период подготовки диссертации с 2017 года по 2023 год соискатель Богайчук А.В. работал в должностях инженера и младшего научного сотрудника в НИЛ Магнитной радиоспектроскопии и квантовой электроники им. С.А. Альтшулера ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет».

В 2013 г. Богайчук Александр Вячеславович окончил ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет им. И. Канта», Физико-технический институт, по специальности «Радиофизика и электроника».

В 2017 г. окончил аспирантуру ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет им. И. Канта» по специальности 01.04.03 «Радиофизика».

Научный руководитель – Куприянова Галина Сергеевна, доктор физико-математических наук, профессор ОНК «Институт высоких технологий» ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет им. И. Канта».

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

1. Актуальность

Актуальность темы диссертации обусловлена необходимостью в разработке новых экспериментальных методов и аппаратных решений ЯМР-релаксометрии для анализа полимерных твердотельных материалов.

Существующие стандартные методы морфологического и механического анализа полимеров либо исследуют состояние поверхности с сохранением самого материала, либо объема и состава изделия, подвергая его разрушению в ходе исследования. Также большая часть химических и механических методов анализа имеет привязку к лабораторному использованию.

В качестве альтернативного метода исследования полимерных материалов может выступать релаксометрия ядерного магнитного резонанса, так как она удовлетворяет условиям портативности и сохранения материала в ходе исследования, а также имеется значительное число работ, показывающих хорошую корреляцию экспериментальных данных, полученных методом ЯМР, с полученными более традиционными методами механического и химического анализа. Однако в настоящее время ЯМР-релаксометрия применяется, в основном, как качественный метод анализа в предположении упрощенной однокомпонентной системы или для наблюдения существенных и необратимых изменений в системе.

2. Новизна и практическая значимость

Впервые представлен новый способ улучшения однородности магнитного поля в сборке Хальбаха из постоянных магнитов за счет учета неидеальности магнитных материалов, без создания систем дополнительной подстройки поля или шиммирующих магнитных полей. Разработаны, реализованы и испытаны новый аппаратный комплекс ЯМР-спектрометра с возможностью перестройки частоты от 0,5 до 500 МГц и цифровым квадратурным детектированием сигнала, а также конструкция магнитной сборки Хальбаха на основе 8 элементов постоянных магнитов с квадратным сечением.

Данные разработки могут быть использованы в развитии новых или усовершенствования существующих технологий и наукоёмких производств ЯМР-релаксометров.

В работе представлен новый экспериментальный корреляционный метод оценки времен спин-спиновой и эффективной спин-спиновой релаксаций T_2 - $T_{2\text{эф}}$, а также представлен код обратного преобразования Лапласа для обработки данных от двумерных корреляционных экспериментов ЯМР-релаксометрии.

Данные методы могут быть использованы для получения дополнительной информации об исследуемых образцах методами ЯМР-релаксометрии.

3. Личный вклад автора

Основные результаты были получены автором лично, либо при непосредственном его участии. В частности, лично автором были проведены все экспериментальные измерения, выполненные методами ЯМР, а также обработка полученных данных методами обратного преобразования Лапласа. Автор участвовал в обсуждении и анализе полученных данных. Работы по разработке и реализации представленного аппаратного комплекса ЯМР-спектрометра была выполнена совместно с другими специалистами при непосредственном участии автора.

4. Соответствие диссертации научной специальности

Все положения диссертации, выносимые на защиту, а также ее содержание соответствуют паспорту специальности 2.2.8 – Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды (технические науки). А именно следующим пунктам:

п. 1 Научное обоснование новых и совершенствование существующих методов, аппаратных средств и технологий контроля, диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды, способствующее повышению надёжности изделий и экологической безопасности окружающей среды.

п. 3 Разработка, внедрение, испытания методов и приборов контроля, диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды, способствующих повышению надёжности изделий и экологической безопасности окружающей среды.

п. 4 Разработка методического, математического, программного, технического, приборного обеспечения для систем технического контроля и диагностирования материалов, изделий, веществ и природной среды, экологического мониторинга природных и техногенных объектов, способствующих увеличению эксплуатационного ресурса изделий и повышению экологической безопасности окружающей среды.

5. Полнота изложения результатов диссертации в работах, опубликованных автором

Полнота изложения материалов диссертации обеспечена публикацией 4 научных статей, входящих в базы данных Scopus и Web of science (и приравненных к публикациям в изданиях, входящих в Перечень ВАК) и 1 патентом на изобретение. Результаты работы были представлены на 4 международных конференциях в виде устных и стендовых докладов.

Статьи в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в международной базе данных Web of Science и/или Scopus

1. Kuzmin V.V., Bogaychuk A.V., Nekrasov I.K., Safiullin K.R., Salakhov M.H., Alakshin E.M., Klochkov A.V., Tagirov M.S. The home-built high-field multifunctional pulsed NMR spectrometer // *Magnetic Resonance in Solids*. – 2019. – V. 21. – 19104.
2. Bogaychuk A.V., Kuzmin V.V. Accounting for material imperfections in the design and optimization of low cost Halbach magnets // *Review of Scientific Instruments* – 2020. – V. 91(10) – 103904.
3. Bogaychuk A., Sinyavsky N., Kupriyanova G. Investigation of Polymer Degradation Using NMR Relaxometry with Inverse Laplace Transformation/ // *Applied Magnetic Resonance* – 2016. – V. 47. – P. 1409-1417.
4. Bogaychuk A.V., Mershev I.G., Sinyavsky N.Y., Kupriyanova G.S. Special Features of the Transverse Relaxation Time Distributions of NMR-Protons for Different Measurement Methods // *Russian Physics Journal* – 2018. – V.61. – P.801-803.

Патенты и авторские свидетельства

5. Способ оценки времени спин-спиновой релаксации в твердом теле: пат. RU 2680725 Рос. Федерация: МПК G 01 N 24/00 / Богайчук А.В., Мершиев И.Г.; патентообладатель Калининград, БФУ им. И. Канта - № 2018104777; заявл. 07.02.2018; опубл. 26.02.2019 Бюл. № 6.

Тезисы конференций

6. Bogaychuk A.V., Farkhutdinov T.H. $T_2 \times T_{2\text{eff}}$ Low-Field NMR-Relaxometry for Solids // *Book of Abstracts, International conference Modern Development of Magnetic Resonance 2021, Kazan, Nov. 1 - 5, 2021. - Kazan, 2020. - P. 167.*
7. Bogaychuk A., Farkhutdinov T. The new pulse sequence for Time Domain NMR for diamagnetic solids // *Book of Proceedings, 19th International School-Conference Magnetic Resonance and Its Applications, Kazan, Mar. 28 - Apr. 1, 2022 - Saint Petersburg, 2022. - P. 60.*
8. Богайчук А.В. Методика $T_{2\text{эф}}-T_2$ для анализа твердотельных диамагнетиков // *Сборник избранных тезисов, Итоговая научно-практическая конференция профессорско-преподавательского состава института физики и химического института имени А.М. Бутлерова казанского федерального университета, Казань, Янв. 23 – Фев. 03, 2023. Казань, 2023. – с.43.*
9. Bogaychuk A., Kuzmin V. Accounting Material Imperfections in the Design of Halbach Magnets // *Book of Abstracts, International conference Modern Development of Magnetic Resonance 2020, Kazan, Sept. 20 - Oct. 2, 2020. - Kazan, 2020. - P. 50.*

6. Ценность научных работ соискателя

Ценность научных работ соискателя заключается в том, что в них изложены основные результаты диссертации: описан разработанный аппаратный комплекс модульного исполнения для проведения экспериментов ЯМР с возможностью перестройки частоты от 0,5 до 500 МГц и цифровым квадратурным детектированием сигнала; представлена и апробирована методика экспериментальной подборки конфигурации постоянных магнитов в магнитной сборке Хальбаха с учетом неидеальности материалов с целью достижения наилучшей возможной однородности магнитного поля; описана конструкция магнитной сборки Хальбаха на основе 8 постоянных магнитов; описан экспериментальный метод корреляционной оценки времен спин-спиновой и эффективной спин-спиновой релаксаций T_2 - $T_{2эф}$.

7. Степень достоверности и апробация работы

Достоверность результатов, приведенных соискателем ученой степени, обеспечена тщательным планированием и постановкой экспериментов, соответствием полученных данных со сторонними методами анализа и данными опубликованными другими научными группами.

Все разработанные приборные модули и приборы в целом были калиброваны с использованием сертифицированного измерительного оборудования.

Основные результаты работы докладывались на различных международных конференциях: International conference Modern Development of Magnetic Resonance 2020 (Казань, 2020), International conference Modern Development of Magnetic Resonance 2021 (Казань, 2021), 19th International School-Conference Magnetic Resonance and its Applications, (Санкт-Петербург, 2022) а также на итоговых конференциях Казанского (Приволжского) федерального университета.

8. Заключение

Диссертация «Корреляционный метод оценки времен спин-спиновой и эффективной спин-спиновой релаксации и аппаратный комплекс ЯМР-релаксометрии для анализа твердотельных полимеров» Богайчука Александра Вячеславовича является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые на защиту, свидетельствует о личном вкладе автора в науку.

Диссертация соответствует всем требованиям, предъявляемым Положением о присуждении ученых степеней Российской Федерации к кандидатским диссертациям.

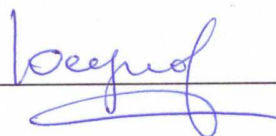
Данная диссертационная работа рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по 2.2.8 – Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды.

Заключение принято на совместном заседании кафедры квантовой электроники и радиоспектроскопии и кафедры физики молекулярных систем ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет».

Присутствовало на заседании 19 (девятнадцать) человека. Результаты голосования: «за» - 19 чел., «против» - нет, «воздержалось» - нет. Протокол № 11 от «19» июня 2023 г.

Заведующий кафедрой квантовой электроники
и радиоспектроскопии Института физики ФГАОУ ВО
«Казанский (Приволжский) федеральный университет»
тел.: +7 (843) 233-77-30, E-mail: Roman.Yusupov@kpfu.ru
420008, Казань, ул. Кремлевская 18

к.ф.-м.н., доцент



Юсупов Роман Валерьевич

Заведующий кафедрой физики молекулярных систем
Института физики ФГАОУ ВО
«Казанский (Приволжский) федеральный университет»
тел.: +7 (843) 231-51-89, E-mail: kazanvs@mail.ru
420008, Казань, ул. Кремлевская 16а

д.ф.-м.н., профессор



Скирда Владимир Дмитриевич

Заместитель директора по научной деятельности
Института физики ФГАОУ ВО
«Казанский (Приволжский) федеральный университет»
тел.: +7 (843) 233-76-38, E-mail: Irina.Choustova@kpfu.ru
420008, Казань, ул. Кремлевская 16а

к.ф.-м.н.



Романова Ирина Владимировна

Таурский Дмитрий Альбертович, д.ф.-м.н., профессор, Первый проректор - проректор по научной деятельности ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»,
Тел.: +7(843)233-79-34, E-mail: Dmitry.Tayurskii@kpfu.ru
420008, Казань, ул. Кремлевская 18