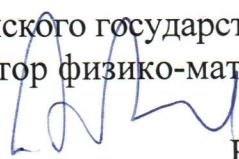
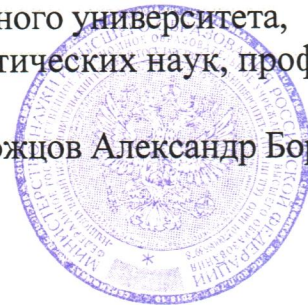


УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по научной и инновационной  
деятельности Национального исследовательского  
Томского государственного университета,  
доктор физико-математических наук, профессор

  
Ворожцов Александр Борисович  
« 10 » октября 2019 г.



### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного автономного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Национальный исследовательский Томский государственный университет»

Диссертация «Высокочастотные электромагнитные характеристики композиционных радиоматериалов на основе гексагональных ферритов» выполнена на кафедре радиоэлектроники.

В период подготовки диссертации соискатель Вагнер Дмитрий Викторович работал в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», в лаборатории радиофизических и оптических методов изучения окружающей среды, в должности младшего научного сотрудника; с 01 сентября 2015 г. по 30 июня 2019 г. очно обучался в аспирантуре федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет».

В 2019 г. окончил федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия с выдачей диплома об окончании аспирантуры.

Сведения о сдаче кандидатских экзаменов приведены в приложении к диплому об окончании аспирантуры.

Научный руководитель – Доценко Ольга Александровна, кандидат физико-математических наук, доцент, основное место работы: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», кафедра радиоэлектроники, доцент.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

#### **Оценка выполненной соискателем работы**

Диссертация Д. В. Вагнера является научно-квалификационной работой, в которой изучаются процессы взаимодействия микроволнового электромагнитного излучения с композиционными материалами на основе ферритов гексагональной структуры, изготовленных с применением разработанной автором установки для текстурования магнитных диэлектриков постоянным магнитным полем, которая

позволяет изменять электромагнитные характеристики композиционного материала без изменения его химического состава и концентрации исходных компонентов имеющей значение для радиофизических наук. Использование предложенного в диссертации метода решает задачу по снижению затрат по разработке и производству магнитных композиционных материалов для высокочастотной радиоаппаратуры.

### **Актуальность темы и направленность исследования**

В последние годы на объектах автоматизированных систем управления применяется большое количество аппаратуры: современные радиостанции, средства радионаблюдения, устройства охраны и сигнализации, компьютеры нового поколения. Использование этой аппаратуры в целом позволяет значительно ускорить и улучшить обработку, сбор, хранение и передачу (отправку) информации, необходимой для управления автоматизированными процессами, а также облегчить работу обслуживающего персонала. Однако наличие такого большого количества радиоэлектронных (электронных) средств приводит к возникновению побочного электромагнитного излучения, что может привести к утечке информации и вывести оперативную аппаратуру из строя. Безопасным побочное электромагнитное излучение является только в том случае, если оно равно нулю на границе контролируемой зоны – территория объекта, на которой исключено неконтролируемое пребывания лиц, не имеющих постоянного или разового пропуска. Создание таких условий возможно двумя способами. Первый – увеличение радиуса контролируемой зоны. Второй – использование материалов (в виде жестких и гибких экранов), поглощающих побочное электромагнитное излучение непосредственно внутри помещений. Так как реализация первого способа возможна только за редким исключением, необходимо решать проблему, используя материалы, поглощающие электромагнитное излучение. Большая часть корпусов и конструкций современной высокочастотной радиоаппаратуры состоит из металлических материалов. Известно, что при падении электромагнитной волны на металлическую поверхность образуется пучность магнитной составляющей электромагнитного излучения. Нанесение магнитного радиопоглощающего материала позволяет снизить интенсивность отраженного излучения. Перспективными материалами для изготовления защитных покрытий, снижающих излучение сверхвысокочастотного диапазона, являются гексагональные ферримагнетики.

Гексагональные ферримагнетики широко используются в качестве наполнителя для изготовления высокочастотных композиционных материалов. Магнитные характеристики этих материалов могут варьироваться в весьма широких пределах, что и определяет интерес к ним как с точки зрения их практического использования, так и с точки зрения развития представлений о природе ферромагнетизма и возможности создания новых магнитных материалов с необходимыми магнитными свойствами. К настоящему времени библиография, посвященная исследованию свойств полимерных материалов на основе гексаферритов, весьма обширна. Однако в подавляющем большинстве работ исследуются структурные либо магнитные характеристики композитов, зависящие от химического состава, легирования другими элементами, термообработки,

воздействия механической активации и т.п. Лишь в весьма немногочисленных работах предприняты попытки проследить взаимосвязь магнитных параметров и структуры композиционного материала, а именно, как влияют на магнитные свойства материала расположение кристаллитов в его объеме, размер кристаллитов, а также их форма. Одним из методов изменения структуры является магнитное текстурирование. Этот метод, используемый для текстурирования поликристаллических материалов, известен достаточно давно. Применение гексагональных ферритов с плоскостью легкого намагничивания для изготовления текстурированного композиционного материала данным методом является наиболее перспективным, так как частицы порошка имеют гексагональную форму, что позволит получить материалы с высокой степенью текстуры, и, следовательно, с увеличенными значениями действительной и мнимой части магнитной проницаемости. Так как данный способ позволит улучшить необходимые параметры материалов, поэтому его реализация является актуальной задачей.

Диссертационная работа выполнена в соответствии с направлением научных исследований кафедры радиозлектроники Томского государственного университета.

Результаты диссертационного исследования были получены, в том числе, при выполнении поддержанного грантом Научного фонда ТГУ им. Д. И. Менделеева проекта № 8.2.08.2018 Л «Исследование физических механизмов, определяющих электромагнитные свойства композиционных материалов для активных и пассивных элементов терагерцового диапазона», руководитель В. И. Суляев (2018–2019), поддержанного фондом содействия инновациям проектом У.М.Н.И.К. «Разработка функциональных радиоматериалов для обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств», руководитель Д. В. Вагнер (2013–2014), поддержанного грантом Минобрнауки проекта № 2.4305.2011 «Создание физических, методических и алгоритмических основ комплекса для измерений параметров композиционных наноматериалов, магнитных жидкостей и малоразмерных биологических объектов квазиоптическими и оптическими методами», руководитель В. И. Суляев (2012–2014), поддержанного грантом Минобрнауки проекта № 8.2.08.2017 «Исследование взаимосвязи строения и электромагнитных свойств многокомпонентных углеродных наноструктур», руководитель проекта В. И. Суляев (2017).

#### **Утверждение темы диссертации, назначение научного руководителя**

Тема диссертации утверждена решением ученого совета радиофизического факультета Томского государственного университета от 27 октября 2015 г., протокол № 6; уточнена решением ученого совета радиофизического факультета Томского государственного университета от 09 июля 2019 г., г., протокол № 7.

Научным руководителем назначена кандидат физико-математических наук, доцент Доценко Ольга Александровна (приказ по Томскому государственному университету от 09 ноября 2015 г. № 4511/с).

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

Лично автором разработана конструкция и собрана установка для

текстурования магнитных диэлектриков постоянным магнитным полем. Совместно с научным руководителем поставлены цели и задачи, обсуждены и опубликованы основные результаты исследований.

Автор лично проводил выбор состава и изготовление образцов композиционных материалов на основе порошков гексаферритов, подготовку образцов к измерению их электромагнитных характеристик, а также обработку экспериментальных результатов; принимал непосредственное участие в модернизации установки для измерения намагниченности насыщения в импульсном магнитном поле и лично проводил измерения магнитных характеристик порошков гексаферритов на данной установке.

Вагнер Дмитрий Викторович является целеустремленным, активным и усердным человеком, что очень помогло ему в проведении своих научных исследований.

#### **Степень достоверности результатов проведенного исследования**

Достоверность полученных результатов достигается сравнительным анализом расчета и эксперимента, многократными измерениями спектров диэлектрической и магнитной проницаемости и коэффициентов отражения экспериментальных образцов.

Достоверность результатов измерений, полученных волноводным методом с использованием коаксиальной ячейки, подтверждается измерением ранее исследованных материалов и сравнением результатов с известными экспериментальными данными.

Достоверность экспериментальных данных подтверждается использованием поверенного оборудования с аттестованными методиками измерения ЦКП «Центр радиоизмерений ТГУ», аккредитованного на техническую компетентность.

#### **Новизна результатов проведенного исследования**

– впервые был предложен способ изготовления текстурованного магнитного полимерного материала, путем внесения его в постоянное магнитное поле с дополнительным воздействием на него ультразвукового излучения. Показано, что данный способ позволяет увеличить степень текстуры готового изделия на 16%;

– впервые измерены спектры диэлектрической и магнитной проницаемостей текстурированных полимерных композитов на основе гексаферритов Z-типа с составом  $\text{Ba}_3\text{Co}_{2,4}\text{Ti}_{0,4}\text{Fe}_{23,2}\text{O}_{41}$ , Y-типа с составом  $\text{Ba}_2\text{NiCuFe}_{12}\text{O}_{22}$  и W-типа с составом  $\text{BaCo}_{0,6}\text{Zn}_{1,4}\text{Fe}_{16}\text{O}_{27}$ ;

– впервые измерены спектры коэффициентов отражения текстурированных полимерных композитов на основе гексаферритов Z-, Y- и W-типа.

#### **Теоретическая и практическая значимость диссертации и использование полученных результатов**

Исследование вносит вклад в представления о влиянии текстуры в композиционных материалах на основе порошков гексаферритов с плоскостью легкого намагничивания на изменение сверхвысокочастотных электромагнитных характеристик изделий на их основе.

Результаты исследования могут быть использованы для расчета радиоэлектронных устройств, на основе порошков исследуемых гексаферритов (например, поглотители, сердечники катушек индуктивности, фазовращатели), и

для уменьшения количества исходного сырья для изготовления композиционных материалов с высокими электромагнитными характеристиками для решения задач электромагнитной совместимости на предприятиях радиоэлектронной промышленности.

Результаты работы используются в учебном процессе при проведении лабораторных работ по курсу «Гетерогенные среды искусственного и природного происхождения»; в научной и производственной деятельности предприятия ООО «Радиозащита-Т» для снижения материальных и временных затрат в процессе производства радиопоглощающих покрытий.

В ходе выполнения работы получен патент на полезную модель № RU 165067 «Установка для текстурования магнитных диэлектриков постоянным магнитным полем», заявл. 28.12.2015, зарег. 13.09.2016.; подана заявка на изобретение № 2019119859 «Радиопоглощающий материал и способ его получения», дата подачи заявки 26.06.2019.

### **Ценность научных работ соискателя, полнота изложения материалов диссертации в опубликованных работах**

По теме диссертации Д. В. Вагнером опубликовано 13 научных работ, в том числе 5 статей в журналах, включенных Перечень российских рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, 1 патент на полезную модель, 7 статей в сборниках материалов научных конференций, представленных в изданиях, входящих в Scopus. Общий объем работ – 4,21 а.л., авторский вклад – 1,1 а.л. В опубликованных работах достаточно полно отражены материалы диссертации.

*Статьи в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук:*

1. Доценко О. А. Микроволновые характеристики композиционных смесей, содержащих наноразмерные порошки сегнетоэлектриков и ферритов / О. А. Доценко, В. И. Суслев, **Д. В. Вагнер**, О. А. Кочеткова // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2012. – Т. 2, № 2 (26). – Ч. 2. – С. 59–62. – 0.25 / 0.06 а.л.

2. Доценко О. А. Влияние внешнего магнитного поля на структуру и электромагнитные характеристики композита, содержащего бариевый феррит Z-типа / О. А. Доценко, К. О. Фролов, К. В. Дорожкин, **Д. В. Вагнер** // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2018. – Т. 61, № 10 (730). – С. 119–123. – 0.31 / 0.08 а.л.

3. **Вагнер Д. В.** Структура, магнитные характеристики и электромагнитный отклик гексагональных ферромагнетиков Y-типа и композиционных материалов на их основе / Д. В. Вагнер, О. А. Доценко, В. А. Журавлев // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2019. – Т. 62, № 4. – С. 21–28. – 0,5 / 0,17 а.л.

4. Доценко О. А. Исследование электромагнитных характеристик порошков мультиферроиков в частотном диапазоне 3-12 ГГц / О. А. Доценко, **Д. В. Вагнер**,

О. А. Кочеткова // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2012. – Т. 55, № 8/2. – С. 179–180. – 0.12 / 0.04 а.л.

5. Доценко О. А. Функциональные радиоматериалы для обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств / О. А. Доценко, **Д. В. Вагнер**, О. А. Кочеткова // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2013. – Т. 56, № 8/2. – С. 260–262. – 0.19 / 0.06 а.л.

*Патенты:*

6. Патент 165067 Российская Федерация, МПК Н01F 38/00, Устройство для текстурирования магнитных диэлектриков постоянным магнитным полем / О. А. Доценко, В. И. Суляев, В. А. Журавлев, **Д. В. Вагнер**, К. О. Фролов: заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» (ТГУ) (RU). – № 2015156023/07; заявл. 28.12.2015, опубл.: 13.09.2016. – 0.42 / 0.08 а.л.

*Публикации в прочих научных изданиях:*

7. **Wagner D. V.** Electromagnetic properties of W – hexaferrites composites with magnetic texture / D. V. Wagner, O. A. Dotsenko, O. A. Ulyanova // Advanced Materials Research. – 2014. – Vol. 1040 : International Conference for Young Scientists «High Technology: Research and Applications 2014», HTRA 2014. Tomsk, Russian Federation. March 26–28, 2014. – Tomsk, 2014. – P. 29–33. – 0.3 / 0.1 а.л.

8. **Wagner D. V.** Electromagnetic Properties of Z – Hexaferrites Composites with Magnetic Texture / D.V. Wagner O.A. Dotsenko, // 15th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices. Erlagor, Altai, Russian Federation, 30 June – 04 July, 2014. – Erlagon, 2014. – P. 132–136. – 0.19 / 0.09 а.л.

9. Dotsenko O. A. Electromagnetic properties of texture composite materials based on hexagonal ferrites/multiwalled carbon nanotubes [Electronic resource] / O. A. Dotsenko, K. O. Frolov, **D. V. Wagner** // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – Vol. 116 : International Conference on Advanced Materials and New Technologies in Modern Materials Science 2015. Tomsk, Russian Federation, November 09–11 November, 2015. – Томск, 2015. – P. 012038. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/297591791\\_Electromagnetic\\_properties\\_of\\_texture\\_composite\\_materials\\_based\\_on\\_hexagonal\\_ferritesmultiwalled\\_carbon\\_nanotubes](https://www.researchgate.net/publication/297591791_Electromagnetic_properties_of_texture_composite_materials_based_on_hexagonal_ferritesmultiwalled_carbon_nanotubes) (access date: 08.10.2019). – 0.25 / 0.08 а.л.

10. Dotsenko O. A. Effect of magnetic field treatment on the electromagnetic properties of polymer composite based on barium hexaferrite at microwave frequencies [Electronic resource] / O. A. Dotsenko, K. O. Frolov, V. I. Suslyayev, **D. V. Wagner** // AIP Conference Proceedings. – 2016. – Vol. 1772 : 13th International Conference of Students and Young Scientists on Prospects of Fundamental Sciences Development, PFSD 2016. Tomsk, Russian Federation, April 26 – 29, Tomsk, 2016. – P. 040006. – URL: [http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000622553?exact=sm\\_creator%3A%22Wagner%2C+Dmitry%22](http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000622553?exact=sm_creator%3A%22Wagner%2C+Dmitry%22) (access date: 08.10.2019). – 0.44 / 0.11 а.л.

11. Dotsenko O. A. Effect of Temperature on the Magnetic Permeability of Hexagonal Ferrites / O. A. Dotsenko, K. O. Frolov, **D. V. Wagner**, V. S. Dotsenko, D. V. Aksentev // Key Engineering Materials. – 2018. – Vol. 781 : 13th International

Conference on Radiation-Thermal Effects and Processes in Inorganic Materials, RTEP 2017. Tomsk, Russian Federation, October 9 – 14, 2017. – P. 36–40. – 0.31 / 0.06 а.л.

12. Zhuravlev V. A. Magnetocrystalline anisotropy of the multiphase samples of the hexaferrites  $Ba_2Ni_{2-x}Cu_xFe_{12}O_{22}$  studied by the ferromagnetic resonance method [Electronic resource] / V. A. Zhuravlev, V. I. Suslyayev, Y. M. Lopushnyak, **D. V. Wagner**, O. A. Dotsenko // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 479 : 3<sup>rd</sup> International Conference on New Material and Chemical Industry, NMCi 2018. Sanya, China, November 17 – 19, 2018. – P. 012073. – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/479/1/012073/meta> (access date: 08.10.2019). – 0.37 / 0.08 а.л.

13. Zhuravlev V. A. Influence of the reagent types on the characteristics of barium hexaferrites prepared by mechanochemical method [Electronic resource] / V. A. Zhuravlev, A. A. Nevmyvaka, V. I. Itin, V. A. Svetlichnyi, I. N. Lapin, **D. V. Wagner** // Materials Today Communications. – 2019. – Vol. 21. – P. 100614-1–9. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/335356899\\_Influence\\_of\\_the\\_reagent\\_types\\_on\\_the\\_characteristics\\_of\\_barium\\_hexaferrites\\_prepared\\_by\\_mechanochemical\\_method](https://www.researchgate.net/publication/335356899_Influence_of_the_reagent_types_on_the_characteristics_of_barium_hexaferrites_prepared_by_mechanochemical_method) (access date: 08.10.2019). – 0.56 / 0.09 а.л.

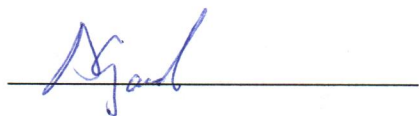
#### **Соответствие содержания диссертации избранной специальности**

Содержание диссертации соответствует специальности 01.04.03 Радиофизика в области исследований: п. 2 «Изучение линейных процессов излучения, распространения и взаимодействия волн в искусственных средах».

Диссертация «Высокочастотные электромагнитные характеристики композиционных радиоматериалов на основе гексагональных ферритов» Вагнера Дмитрия Викторовича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.03 Радиофизика.

Заключение принято на расширенном заседании кафедры радиоэлектроники радиофизического факультета федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет»

Присутствовало на заседании – 13 чел. Результаты голосования: «за» – 13 чел., «против» – нет, «воздержалось» – нет, протокол № 2 от «08» октября 2019 г.



Суслев Валентин Иванович  
кандидат физико-математических наук,  
доцент, кафедра радиоэлектроники  
радиофизического факультета,  
доцент