

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.231.01,**

созданного на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук, по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук.

аттестационное дело N \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 04 декабря 2020 г., N 3

**О присуждении Осочкину Сергею Александровичу, гражданину России ученой степени кандидата физико-математических наук.**

Диссертация на тему: «Распространение спиновых волн в дискретных ограниченных ферромагнитных структурах» принята к защите 30 сентября 2020, протокол № 2, диссертационным советом Д 002.231.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Российской академии наук (125009, Москва, ул. Моховая, Д.11, корп.7) (приказ Рособнадзора о создании совета № 2397-1776 от 07.12.2007 г.; приказ Минобрнауки России о продлении деятельности совета № 75/нк от 15.02.2013 г.)

Соискатель Осочкин Сергей Александрович, 1992 года рождения, в 2015 году окончил ФГАОУ ВО «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)».

С 28.09.2015 по 31.08.2019 г. проходил обучение в аспирантуре ФГАОУ ВО «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» по специальности «Физика конденсированного состояния».

Работает исследователем данных в центральном аппарате Публичного акционерного общества «Сбербанк России».

Диссертация выполнена в лаб. исследования свойств магнитных и оптических микро- и наноструктур (лаб.№ 191) ФГБУН Института радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова Российской академии наук.

**Научный руководитель: Никитов Сергей Аполлонович**, доктор физико-математических наук, профессор, член-корр. РАН, директор ФГБУН Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук.

### **Официальные оппоненты:**

**Белотелов Владимир Игоревич**, доктор физико-математических наук, доцент кафедры фотоники и физики микроволн физического факультета ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова».

**Розанов Константин Николаевич**, доктор физико-математических наук, директор ФГБУН Института теоретической и прикладной электродинамики Российской академии наук, дали положительные отзывы на диссертацию.

**Ведущая организация – ФГБОУ ВО "МИРЭА - Российский технологический университет»** (г. Москва), в своем положительном отзыве, подписанном А.Н. Юрасовым, д.ф.м.н., доцентом, профессором кафедры наноэлектроники Физико-технологического ин-та МИРЭА, Н.А. Экономовым, к.ф.м.н., доцентом кафедры физики этого же ин-та МИРЭА и утвержденном первым проректором РГУ МИРЭА П.И. Прокоповым, отметила, что тема диссертации С.А. Осочкина актуальна, новизна и достоверность полученных в ней результатов не вызывают сомнений. Практическая значимость работы состоит в разработанных автором теоретических подходах, методиках расчета и различных компьютерных программ для нахождения

характеристик высокочастотных колебаний и распространяющихся спиновых волн в дискретных структурах ограниченных размеров. Эти структуры являются прототипами, на основе которых могут быть реализованы различные устройства обработки сверхвысокочастотных сигналов. Результаты диссертации могут быть использованы в организациях, занимающихся исследованиями в области физики магнитных явлений и разработкой новых устройств обработки информации, использующих распространение спиновых волн (СбПГТЭУ «ЛЭТИ», ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН, ФТИ им.А.Ф.Иоффе РАН, МГУ им. М.В.Ломоносова, МИРЭА и др.)

Соискатель имеет **17** опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано **14** работ, из которых **8** – в журналах, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, и **6** – в журналах, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus, **6** – в трудах международных конференций. Общий объем опубликованных по теме диссертации работ, составил 84 мп. стр. Из них:

1. Barabanenkov Y.N., **Osokin S.A.**, Kalyabin D.V., Nikitov S.A. Spin-wave bound modes in a circular array of magnetic inclusions embedded into a metallized ferromagnetic thin-film matrix // *Phys. Rev. B.* — 2015. — Jun. — Vol. 91. — P. 214419.

**Краткое описание:** Разработана общая теория многократного рассеяния прямых объемных магнитоэстатических спиновых волн на конечной двумерной системе цилиндрических магнитных включений в ферромагнитной пленке, металлизированной с обеих сторон. Предполагается, что вокруг этих включений возбуждаются связанные спин-волновые моды. Система самосогласованных уравнений спин-волнового многократного рассеяния внутри матрицы с включениями получена с помощью теоремы об инвариантном сложении для цилиндрических волновых функций. Получены аналитические решения для собственных мод спиновых волн в виде блоховских спиновых волн, распространяющихся вдоль кольцевого массива включений.

2. **Osokin S.A.**, Safin A.R., Barabanenkov Y.N., Nikitov S.A. Spin waves in finite chain of dipolarly coupled ferromagnetic pillars // *Journal of Magnetism and Magnetic Materials.* — 2018. — Vol. 465. — Pp. 519 – 523.

**Краткое описание:** Рассмотрены особенности распространения спиновых волн в массиве ферромагнитных столбиков в рамках теоретического подхода, учитывающего диполь-дипольное взаимодействие между ними. Расчеты конечной линейной цепочки столбиков в приближении макроспина показывают, что такая система имеет несколько резонансных частот, которые зависят от краевых эффектов и геометрических параметров структуры. Рассмотрены различные конфигурации намагниченности столбиков и показано, что частотные характеристики различаются в случаях: однонаправленного намагничивания столбиков (ферромагнитная конфигурация), противоположных направлений намагниченности (антиферромагнитная конфигурация) и однонаправленная намагниченность с одиночными дефектами.

3. **Osokin S.A.**, Safin A.R., Nikitov S.A. Influence of Shape Effects on the Spectrum of Spin Waves in Finite Array of Ferromagnetic Pillars // *JETP Letters.* — 2019. — Vol. 110 — Pp. 629 – 634.

**Краткое описание:** Исследованы частотные характеристики спиновых волн, возбуждаемых в цепочке цилиндрических ферромагнитных столбиков. Наличие

границы в цепочке и конечная высота столбиков приводят к существованию неоднородности намагниченности и эффективных магнитных полей. Численным моделированием, с помощью метода конечно-разностной дискретизации, продемонстрировано существование дополнительных резонансных частот для краевых мод спиновых волн за счет размагничивания столбиков и диполь-дипольного взаимодействия между столбиками цепочки.

В диссертации отсутствуют достоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы из:

- ФГАОУ ВО Санкт-Петербургского гос. электротехнического университета им. В.И. Ульянова (Ленина) от д.ф-м.н., проф. каф. физической электроники и технологии А.Б. Устинова (замеч. нет).

- ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет» от д.ф-м.н., проректора по научной работе А.С. Самардака (замеч. нет).

- ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова» от д.ф-м.н., проф. А.Б.Грановского, проф. каф. магнетизма Физического фак-та (замеч. нет).

- ФГБУН Института физики микроструктур РАН от д.ф-м.н. А.А.Фраермана, зав.отд. магнитных наноструктур (замеч.: недостаточно подробно в автореферате обсужден обнаруженный автором эффект невзаимности рассеяния спиновой волны на включении, в частности, не обсуждается вопрос о связи невзаимного рассеяния и ориентации магнитного момента включения. Также автореферат не свободен и от опечаток).

- Дагестанского федерального исследовательского центра РАН от д.ф-м.н., чл-корр. РАН А.К. Муртазаева (замеч. нет).

- ФГБУН Института физики металлов им. Н.М.Михеева УрО РАН от д.ф-м.н. А.П.Носова, гл.научн.сотрудника лаб. нанокompозитных мультиферроиков (замеч. : в автореферате имеются опечатки, к рис.1, 7, на стр. 9, 10, 14).

**Обоснование выбора ведущей организации:** ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет», кафедра нанoeлектроники известна своими фундаментальными и экспериментальными исследованиями в области создания и использования магнитных и диэлектрических материалов, разработкой приборов микро и нанoeлектроники. Многочисленные работы ее сотрудников свидетельствуют об их способности адекватно оценить результаты, представленные автором для защиты.

**Обоснование назначения оппонентов:** назначенные советом оппонентами по диссертации С.А. Осокина ученые широко известны своими достижениями в данной отрасли науки, имеют многочисленные научные труды в рецензируемых научных журналах, способны определить актуальность, новизну, научную и практическую ценность диссертации: д.ф-м.н **В.И. Белотелов** – известный специалист в области плазмоники и спинтроники. Ряд его работ посвящен исследованию свойств магнитоплазмонных структур; д.ф-м.н **К.Н. Розанов** – известный в России специалист в области создания и экспериментального исследования электрофизических, радиофизических и магнитных свойств материалов СВЧ электроники.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

предложена и разработана математическая модель, описывающая распространение прямых объемных магнитоэлектрических спиновых волн в ограниченных массивах ферромагнитных включений в ферромагнитной пленке с другой намагниченностью насыщения. На основе этой модели было показано, что одномерные периодические массивы могут выполнять функцию волноводов и резонаторов для спиновых волн. Исследованы резонансные состояния спиновой системы при распространении спиновых волн в одномерных ограниченных массивах ферромагнитных включений в ферромагнитной пленке, и были определены геометрические параметры массива и включений, при которых возможно распространение спиновых волн с малыми потерями на рассеяние. Обнаружены краевые моды спиновых волн с резонансной частотой, отличной от остальных мод спиновых волн и локализованных на границах массива, при распространении спиновых волн в ограниченных массивах ферромагнитных столбиков. Продемонстрировано, что для массивов столбиков конечной высоты существует несколько резонансных частот для колебаний намагниченности, одна из которых является резонансной для краевых состояний с амплитудой колебаний, локализованной на краю массива. Продемонстрировано, что существует дополнительная резонансная частота колебаний намагниченности, локализованная на краю столбика из-за проявления краевых эффектов и эффектов формы.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:** с помощью метода многократного рассеяния была построена модель рассеяния спиновых волн на ограниченных массивах ферромагнитных включений в пленке и ферромагнитных столбиков. С помощью аналитических и численных методов изучено влияние краевых эффектов на частотные характеристики спиновых волн в ограниченных двумерных магнитных структурах, обнаружены эффекты не взаимного рассеяния взаимных спиновых волн. Автор расширил область применения теоретических методов для изучения свойств спиновых волн в ограниченных дискретных магнитных структурах. Так же им описаны методы возбуждения спиновых волн в ограниченных линейных массивах ферромагнитных столбиков. Продемонстрировано существование дополнительной резонансной частоты колебаний намагниченности в ферромагнитных столбиках, из-за проявления эффектов формы.

**Значение полученных результатов исследования для практики подтверждается тем, что:** рассмотренные в диссертации структуры могут служить элементами для компонентной базы устройств обработки информации. При этом, многокомпонентные устройства обработки сигналов с использованием спиновых волн в качестве носителя информации могут состоять из нескольких отдельных элементов, таких как волноводы, резонаторы, логические вентили, разветвители и селекторы. Изученные автором диссертации эффекты и предложенные аналитические и численные методы позволяют учитывать влияние краевых эффектов и эффектов формы на частотные характеристики таких приборов.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:** согласование результатов, полученных теоретическими методами с численными экспериментами. Также автор использовал апробированные методы численного моделирования для подтверждения существования эффектов, полученных теоретическими методами и обнаруженных в работах других исследований. Помимо этого, все основные результаты были опубликованы в ведущих международных и российских журналах,

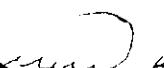
а также доложены на международных и отечественных конференциях, что свидетельствует об их достаточной апробации.

**Личный вклад соискателя состоит** в постановке задач для диссертации, обработке всех полученных теоретических и экспериментальных результатов. Автор также принимал непосредственное участие в создании теоретических моделей. Основные вопросы интерпретации результатов были выдвинуты им лично. Автор диссертации самостоятельно ставил и проводил численные эксперименты, представленные в данной работе. Также он принимал непосредственное участие в апробации результатов исследований на конференциях, семинарах и публикациях в научных журналах.


Диссертационная работа С.А. Осокина является законченной научно-квалификационной работой, которая содержит решение научной и практической задачи по изучению влияния краевых эффектов на распространение спиновых волн в дискретных ограниченных ферромагнитных структурах. Работа удовлетворяет требованиям пункта 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 824, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук.

На заседании 04 декабря 2020 г диссертационный совет принял решение присудить Осокину С.А. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении открытого голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 6 докторов наук специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 25 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 19; против – 0, воздержавшихся – 0.

И.о.Председателя диссертационного совета  Демидов Виктор Владимирович

Ученый секретарь диссертационного совета

 Кузнецова Ирен Евгеньевна

«07» декабря 2020 г.

