

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.392.01,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»,
МИНОБРНАУКИ РОССИИ,
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 15.12.2022 № 28

О присуждении **Одинцову Сергею Александровичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Распространение спиновых волн в ферритовых волноводах с распределенной связью и магнетонных кристаллах», по специальностям 1.3.4. – Радиофизика и 1.3.5 – Физическая электроника принята к защите 16 сентября 2022 года (протокол заседания № 20) диссертационным советом 24.2.392.01, созданным на базе ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» (ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»), Минобрнауки России, 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, 83, приказ Минобрнауки России о создании диссертационного совета от 15.02.2013 №75/нк; приказы об изменении состава совета от 15.12.2015 № 1598/нк-9, от 28.09.2016 №1180/нк-52, от 15.02.2017 № 116/нк-38, от 26.01.2018 № 92/нк-50, от 17.04.2018 № 431/нк-26, от 23.11.2018 №301/нк-66, от 24.09.2019 № 873/нк-26; приказ об установлении полномочий совета от 03.06.2021 № 561-нк (Приложение 1/597); приказ об изменении состава совета от 15.10.2021 № 1046/нк-33.

Соискатель **Одинцов Сергей Александрович**, 1995 года рождения, окончил в 2017 году ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского», Минобрнауки России, по направлению 03.04.01 – Прикладные математика и физика с присвоением квалификации «Магистр». В период подготовки диссертации с 2017 по 2022 соискатель обучался в очной аспирантуре ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского», Минобрнауки России, по направлению 03.06.01 – Физика и астрономия. Работает в должности младшего научного сотрудника лаборатории «Магнитные метаматериалы» научно-

исследовательского института механики и физики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н. Г. Чернышевского» Минобрнауки России.

Диссертация выполнена на кафедре нелинейной физики института физики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского».

Научные руководители:

Бегинин Евгений Николаевич, кандидат физико-математических наук (01.04.03), доцент, ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»; Институт физики, кафедра нелинейной физики заведующий кафедрой;

Садовников Александр Владимирович, кандидат физико-математических наук (01.04.03, 01.04.05), доцент, ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского», Институт физики, кафедра физики открытых систем доцент.

Официальные оппоненты:

1. Устинов Алексей Борисович, доктор физико-математических наук (01.04.03), доцент, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)», г. Санкт-Петербург, кафедра физической электроники и технологии, профессор;

2. Хохлов Николай Евгеньевич, кандидат физико-математических наук (01.04.03), ФГБУН Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, г. Санкт-Петербург, лаборатория физики ферроиков, старший научный сотрудник,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва, в своем положительном отзыве, подписанном Сафиним Ансаром Ризаевичем, кандидатом технических наук (05.12.04), доцентом, заведующим кафедрой «Формирование и обработка радиосигналов», указала, что диссертационная работа Одинцова С.А. посвящена выявлению особенностей передачи мощности спиновых волн в планарных структурах на основе ферромагнитных микроволноводов, микроразмерных кольцевых резонаторов и магнотно-кристаллических структур в линейном и нелинейном режиме; диссертация удовлетворяет требованиям пп. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», а её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальностям 1.3.4. – Радиофизика и 1.3.5. – Физическая электроника.

Соискатель имеет 22 опубликованные работы, все работы – по теме диссертации, из них 10 работ опубликованы в рецензируемых научных изданиях, рекомендуемых ВАК при Минобрнауки РФ для публикации основных научных результатов диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

Odincov S. A., Grachev S.A., Nikitov S.A., Sadovnikov A. V., Intensity and magnetization angle reconfigurable lateral spin-wave coupling and transport // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. 2020. Vol. 500, 166344.

Одинцов С. А., Бегинин Е. Н., Шешукова С. Е., Садовников А. В. Реконфигурируемый латеральный спин-волновой транспорт в кольцевом магнотонном микроволноводе // Письма в ЖЭТФ. 2019. Т. 110, №. 6. С. 414–420.

Sadovnikov A. V., Beginin E. N., **Odincov S. A.**, Sheshukova S. E., Sharaevskii Yu. P., Stognij A. I., and S. A. Nikitov. Frequency selective tunable spin wave channeling in the magnonic network // Appl. Phys. Lett. 2016. Vol. 108, 172411.

На автореферат диссертации поступило 5 положительных отзывов: из Южного федерального университета, г. Ростов-на-Дону, от д.ф.-м.н. (01.04.03) Бабичева Р.К.; из Российского государственного университета нефти и газа имени И.М. Губкина от к.ф.-м.н. (01.04.03) Воронина Д.В.; из ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского» от д.ф.-м.н. (01.04.11) Тихонова В.В.; из Саратовского филиала Института радиотехники и электроники имени В.А. Котельникова РАН от к.ф.-м.н. (01.04.03) Сахарова В.К.; из Дагестанского федерального исследовательского центра РАН от к.ф.-м.н. (01.04.07) Амирова А.А.

Отзывы на автореферат не содержат замечаний.

Выбор официальных оппонентов обосновывается близким соответствием проводимых ими исследований теме диссертации, их высокой квалификацией в области изучения вопросов распространения спин-волновых возбуждений в тонких ферромагнитных пленках и методов их управления, что позволяет оценить научную и практическую значимость диссертационной работы, широкой известностью и признанными достижениями среди специалистов. Выбор ведущей организации обосновывается её высоким авторитетом среди научно-исследовательских организаций, эффективно работающих над решением актуальных задач радиофизики и физической электроники, а также отсутствием договорных отношений с соискателем. Выбор официальных оппонентов и ведущей организации удовлетворяет критериям, сформулированным в пп. 22 и 24 действующего «Положения о присуждении ученых степеней» от 24 сентября 2013 г. № 842.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана аналитическая модель на основе связанных уравнений Гинзбурга – Ландау, учитывающая трансформацию мод и нелинейный фазовый сдвиг;

показана возможность управления дисперсионными характеристиками и длиной связи спиновых волн при изменении ориентации внешнего магнитного

поля в системе двух связанных микроволноводов, расположенных на единой подложке;

установлены особенности механизмов управления пространственными распределениями и передаточными характеристиками дипольных спиновых волн;

предложена новая конфигурация ферромагнитной пленки с двумерным массивом канавок, в которой реализуется пространственная локализация спиновых волн на частотах, соответствующих запрещённым Брэгговским зонам.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

исследованы механизмы передачи мощности спиновых волн различных типов в планарной системе двух связанных магнитных микроволноводов, ограниченных по ширине и расположенных на единой подложке в линейном и нелинейном режимах;

установлено, что за счёт реализации режимов бегущей и стоячей волны в микрорезонаторе возможно формирование режимов сонаправленного и противонаправленного распространения спин-волнового сигнала в магнитных микроволноводах с кольцевым резонатором, расположенным между ними;

показано, что в магнитно-кристаллической структуре с волноводными каналами формируются локализованные пучки спиновых волн вне области магнитного кристалла;

дана интерпретация физического явления трансформации поперечных волновых чисел магнитно-кристаллической структуры с волноводными каналами, в частности, проявляющегося в изменении локализации пучков спиновых волн на поверхности пленки в случае, когда число каналов совпадает с номером шириной моды;

исследован характер процессов обмена энергией в новом классе магнитных структур – в магнитных микроволноводах, связанных через кольцевой резонатор. Выявлены основные механизмы управления режимами передачи мощности между микроволноводами посредством изменения величины и направления внешнего магнитного поля.

Значение полученных соискателем результатов исследований для практики подтверждается тем, что: предложены методы управления спин-волновыми характеристиками латеральных и магнитно-кристаллических структур, предназначенных для устройств обработки информационных

сигналов – таких как направленные делители, ответвители, фильтры и системы демультиплексирования с эффектом частотно пространственной селекции, управляемые магнитным полем или мощностью подаваемого сигнала.

Исследования выполнялись в рамках грантов РФФИ (16-19-10283, 20-79-10191) и РФФИ (16-29-14021, 16-37-00217, 18-29-27026, 18-37-00482, 18-37-20005, 19-29-03034, 19-37-80004, 19-37-90079).

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

установлено качественное и количественное соответствие результатов, полученных с использованием современной высокоточной аппаратуры, и методов измерений амплитудно-частотных и дисперсионных характеристик магнитных структур, с численными расчётами;

использованы широко апробированные методы и алгоритмы численного моделирования, хорошо зарекомендовавшие себя при моделировании спиновой динамики в микроструктурах;

Личный вклад соискателя. Защищаемые положения и результаты получены лично соискателем. Постановка задачи, обсуждение и интерпретация результатов осуществлялись совместно с научными руководителями, а также с соавторами опубликованных работ.

Результаты диссертационной работы рекомендованы к использованию в научно-исследовательских учреждениях – в Институте радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН (г. Москва) и его Саратовском филиале, Национальном исследовательском университете «МЭИ» (г. Москва), Институте прикладной физики РАН (г. Нижний Новгород), ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)» (г. Санкт-Петербург), ФГБУН Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе РАН (г. Санкт-Петербург).

Результаты могут быть использованы в учебном процессе в высших учебных заведениях, ведущих подготовку специалистов в области исследования спиновых волн в различных магнитных структурах. (ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского», Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет), МГУ им. М.В. Ломоносова (г. Москва)).

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания о необходимости пояснения: 1) какие результаты работы отвечают специальности «Радиофизика», а какие – к специальности «Физическая электроника»; 2) причин использования нескольких методов численного моделирования; 3) отличия представленных результатов от результатов, ранее

опубликованных в работах о связанных волноводах, 4) правомерности одновременного изменения ширины волноводов и расстояния между ними; 5) границ используемого диапазона частот при рассмотрении исследуемого эффекта связи спиновых волн; 6) о величине зазоров между двумя планарными волноводами для реализации сильной связи и создания ответвителей на их основе; 7) использования терминов для обозначения типов магнитостатических волн и вопроса о том, можно ли их называть спиновыми волнами.

Соискатель Одинцов С.А. ответил на замечания, содержащиеся в отзывах ведущей организации и официальных оппонентов, и на задаваемые ему в ходе заседания вопросы.

1) Полученные в ходе работы результаты относятся как к специальности «Радиофизика» (выявлены особенности передачи мощности спиновых волн в планарных структурах на основе ферромагнитных микроразмерных структур в линейном и нелинейном режиме), так и к специальности «Физическая электроника» (выявлены особенности влияния проводимости магнетонных кристаллов и запрещённых Брегговских зон на распространение спиновых волн в магнетонно-кристаллических структурах с волноводными каналами, на основе которых возможно создание устройств спинтроники).

2) В диссертации использовано два численных метода: метод конечных элементов (МКЭ) и метод микромагнитного моделирования. В МКЭ поставленные задачи решаются в частотной области и получены спектры и дисперсионные характеристики собственных мод электромагнитных волн в гиротропной среде. Этим волнам отвечают соответствующие ветви дисперсионных характеристик спиновых (магнитостатических волн) при уменьшении длины волны. В методе микромагнитного моделирования используется методика решения уравнения Ландау-Лифшица-Гильберта с эффективным полем во временной области. Данным методом решаются статические и динамические задачи о движении вектора намагниченности в исследуемых структурах. Методом микромагнитного моделирования получены передаточные характеристики спиновых волн в магнитных микроволноводах, построены карты пространственных распределений компонент намагниченности.

3) В ранних работах о связанных волноводах рассматривались безграничные плоскостойкие волноводы, к которым возможно применение аналитических методов исследований. В данной работе численно исследовались поперечно-ограниченные магнитные микроволноводы, для которых аналитические методы в настоящий момент не разработаны.

4) В случае поверхностных магнитостатических волн значительное влияние на их спектр оказывает профиль поперечного распределения

внутреннего магнитного поля в магнитных микроволноводах. При этом при одновременном изменении ширины волноводов и зазоров между ними в малых пределах можно считать, что изменение этого профиля незначительно. Поэтому правомерно варьировать одновременно расстояние между волноводами и ширину этих волноводов. Модовый состав и структура спектра спиновых волн при этом оставались постоянными, но изменялось расстояние (волновые числа) между симметричными и антисимметричными модами при фиксированных частотах.

5) Выбранный диапазон объясняется тем, что волны эффективно связываются в этом диапазоне, где длина связи мала, и перекачка мощности происходит в малых пространственных масштабах. Таким образом, перераспределение мощности спиновых волн наблюдается в исследуемой структуре.

6) Области эффективной связи волн соответствует малая длина связи и передача мощности между волноводами происходит в малых пространственных масштабах. Таким образом, чтобы наблюдалась перераспределение мощности спиновой волны в исследуемой структуре необходимо обеспечить величину зазора между волноводами порядка толщины магнитных слоев. Оптимальные зазоры определяются возможностью полной передачи мощности волны из одного волновода в другой, и в случае исследуемых структур это обеспечивается при зазорах между волноводами порядка нескольких десятков микрон.

7) Используемые термины: поверхностные магнитостатические волны (ПМСВ), обратные объемные магнитостатические волны (ОМСВ) и прямые объемные магнитостатические волны (ПОМСВ) – являются устоявшимися терминами для обозначения различных типов волн магнитостатических волн в области магноники и спинтроники. Магнитостатические волны являются частью спектра спиновых волн, в которых энергия диполь-дипольного взаимодействия магнитных моментов существенно превышает энергию их обменного взаимодействия.

В диссертационной работе Одинцова С.А. решена актуальная задача **радиофизики**, заключающаяся в выявлении особенностей передачи мощности спиновыми волнами в планарных структурах на основе ферромагнитных микроволноводов и микроразмерных структур в линейном и нелинейном режиме посредством изменения геометрических размеров структур, направления ориентации внешнего магнитного поля и мощности спиновой волны (пункт 2 паспорта научной специальности 1.3.4. «Радиофизика»), и актуальная задача **физической электроники**, заключающаяся в выявлении особенностей влияния проводимости магнетонных кристаллов и запрещённых

Бреговских зон на распространение спиновых волн в магннокристаллических структурах с волноводными каналами (пп. 2 и 5 паспорта научной специальности 1.3.5. «Физическая электроника»). Содержание диссертации удовлетворяет требованиям пп. 9-11, 13, 14 действующего «Положения о присуждении ученых степеней» (утверждено Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842), предъявляемых к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальностям 1.3.4. – Радиофизика и 1.3.5 – Физическая электроника.

На заседании 15 декабря 2022 года диссертационный совет принял решение присудить Одинцову С. А. ученую степень кандидата физико-математических наук по специальностям 1.3.4. – Радиофизика и 1.3.5 – Физическая электроника.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 23 человек (22 человек находились в месте проведения заседания, 1 человек участвовал в заседании совета в удаленном интерактивном режиме), из них 10 докторов по специальности 1.3.4. – Радиофизика и 4 доктора по специальности и 1.3.5. – Физическая электроника, участвовавших в заседании, из 30 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 23, против – нет, воздержавшихся – нет.

Председатель
диссертационного совета

Ученый секретарь
диссертационного совета



15 декабря 2022 г.