

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по научной работе и цифровому развитию
ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»
доктор физико-математических наук, профессор
Алексей Александрович Короновский



«26» мая 2026 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» по диссертации **Иголина Семена Владимировича** «Управление электрофизическими и электродинамическими параметрами композитных материалов с магнитными наночастицами и углеродными наноструктурами» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальностям 2.2.2. – Электронная компонентная база микро- и наноэлектроники, квантовых устройств и 1.3.4. – Радиофизика, выполненной на кафедре физики твердого тела института физики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского».

Тема диссертационной работы утверждена приказом ректора ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского» от 01.11.2025 г. №163-Д.

Соискатель **Иголин Семен Владимирович** в 2017 г с отличием окончил ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» по направлению подготовки 11.04.04 «Электроника и наноэлектроника» с присвоением квалификации «Магистр».

В период подготовки диссертации с 2017 г. (приказ о зачислении №460-П от 25.08.2017) по 2022 г. (приказ об отчислении в связи с окончанием срока обучения №42-Д от 01.04.2022) являлся аспирантом ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» по направлению подготовки 11.06.01 – «Электроника, радиотехника и системы связи», направленность «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах». С 01.10.2025 г. прикреплен для подготовки диссертации на соискание ученой степени кандидата наук (приказ №131-Д от 26.09.2025).

Справка о сданных кандидатских экзаменах №6-2026 от 10.02.2026 выдана ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского».

Научные руководители – **Постельга Александр Эдуардович**, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики твердого

тела института физики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского», **Скрипаль Александр Владимирович**, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой физики твердого тела института физики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского», утвержденные приказом ректора ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского» от 01.11.2025 г. №163-Д., представили положительные отзывы о диссертации и соискателе.

Научную экспертизу диссертация проходила на расширенном заседании кафедры физики твердого тела института физики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского» с приглашением специалистов по профилю диссертации из других структурных подразделений СГУ, а также других научных учреждений.

На заседании присутствовали:

1. Скрипаль Александр Владимирович, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой физики твердого тела института физики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»;
2. Аникин Валерий Михайлович, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры радиотехники и электродинамики института физики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»;
3. Михайлов Александр Иванович, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры физики твердого тела института физики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»;
4. Филимонов Юрий Александрович, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии материалов на базе Саратовского филиала ФГБУН ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН;
5. Яфаров Равиль Кяшшафович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры физики твердого тела института физики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»;
6. Рыскин Никита Михайлович, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой динамических систем на базе Саратовского филиала ФГБУН ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН;
7. Стрелкова Галина Ивановна, доктор физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой радиофизики и нелинейной динамики института физики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»;
8. Ушаков Николай Михайлович, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры физики твердого тела института физики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»;
9. Шабунин Алексей Владимирович, доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры радиофизики и нелинейной динамики института физики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»;
10. Трофимова Нина Борисовна, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры физики твердого тела института физики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»;

11. Постельга Александр Эдуардович, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики твердого тела института физики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»;

12. Слепченков Михаил Михайлович, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры радиотехники и электродинамики института физики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»;

13. Калинин Михаил Юрьевич, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики твердого тела института физики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»;

14. Добдин Сергей Юрьевич, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики твердого тела института физики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»;

15. Адилова Асель Булатовна, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики открытых систем института физики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»;

16. Вагарин Анатолий Юрьевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры физики твердого тела института физики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»;

17. Чурочкин Дмитрий Викторович, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики твердого тела института физики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»;

18. Чурочкина Светлана Викторовна, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики твердого тела института физики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»;

19. Инкин Максим Глебович, ассистент кафедры физики твердого тела института физики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»;

Рецензенты диссертации:

Филимонов Юрий Александрович, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии материалов на базе Саратовского филиала ФГБУН ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН,

Ушаков Николай Михайлович, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры физики твердого тела института физики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»

представили положительные отзывы, в которых указали, что диссертация удовлетворяет требованиям пп. 9–11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

По итогам обсуждения диссертации принято следующее заключение:

Заключение

по диссертации Игонина Семена Владимировича «Управление электрофизическими и электродинамическими параметрами композитных

материалов с магнитными наночастицами и углеродными наноструктурами» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальностям 2.2.2. – Электронная компонентная база микро- и наноэлектроники, квантовых устройств и 1.3.4. – Радиофизика.

Актуальность работы. В диссертационной работе Игонина С.В. решен круг актуальных задач микро- и наноэлектроники, связанных с фундаментальными исследованиями новых принципов работы оптоэлектронных и сверхвысокочастотных (СВЧ) устройств на основе взаимодействия электромагнитного излучения с образующимися в магнитной жидкости углеродными наноструктурами, в том числе твердой полимерной матрице, и актуальная задача радиофизики, связанная с управлением характеристиками СВЧ фотонных структур и построением физической модели, позволяющей рассчитывать электрофизические параметры волокнистых композитов с неоднородным заполнением. Проведенные исследования подтверждены экспериментальными результатами. Полученные результаты позволяют улучшить современные методы разработки композитных материалов с управляемыми параметрами и усовершенствовать методы прогнозирования параметров волокнистых композитов с неоднородным заполнением.

Личный вклад автора. Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, получены соискателем лично. Автором было осуществлено проведение всего объема экспериментальных работ и анализ экспериментальных результатов. Была разработана физическая модель, описывающая взаимодействие электромагнитного излучения СВЧ диапазона с волокнистыми композитами и проведено с использованием разработанной модели компьютерное моделирование, произведен анализ результатов моделирования. Постановка задач, планирование проведения исследований, интерпретация и обсуждение результатов, написание научных статей осуществлялись совместно с научными руководителями и соавторами опубликованных работ.

Достоверность полученных результатов. Достоверность полученных в рамках диссертации результатов обеспечивается применением классических методов численного моделирования: матриц передачи, для описания взаимодействия электромагнитного излучения СВЧ диапазона с периодическими структурами, и теории возмущений, для описания взаимодействия с включениями малых размеров. Сходимость полученных экспериментальных частотных зависимостей коэффициента отражения СВЧ излучения от периодических структур, содержащих в качестве нарушения исследуемый волокнистый композит, с теоретическими расчетами по разработанной физической модели и с использованием программных пакетов электродинамического 3D моделирования, протестированных на большом классе радиофизических задач. Достоверность экспериментальных результатов обеспечена использованием стандартной измерительной аппаратуры, обработкой

экспериментальных данных согласно стандартным методам, корректностью использованных методик исследования. Также достоверность подтверждается согласованностью описанных выводов с полученными ранее результатами других авторов.

Научная новизна результатов исследования. В диссертационной работе впервые экспериментально исследуется влияние длины волны лазерного излучения на глубину модуляции поляризованного оптического излучения, проходящего через композитный материал – магнитная жидкость, углеродные нанотрубки – при изменении направления вектора индукции магнитного поля относительно вектора поляризации электрической компоненты оптического излучения. Также впервые исследуются частотные зависимости коэффициента отражения СВЧ излучения от периодических структур, при размещении в качестве нарушенного слоя полимерного композита, содержащего нитевидные включения из углеродных нанотрубок и магнитных наночастиц, исследуется анизотропия электрофизических параметров таких нитей. Кроме того, в рамках диссертации предлагается новая физическая модель, позволяющая описывать взаимодействие электромагнитного излучения с волокнистыми композитами.

Новизна основных результатов работы подтверждается публикациями в ряде научных статей в журналах, входящих в международные и российские системы цитирования.

В диссертационной работе впервые получены следующие научные результаты:

- Экспериментально установлено, что глубина амплитудной модуляции линейно поляризованного оптического излучения возрастает с увеличением длины волны лазерного излучения, проходящего через композит магнитная жидкость/углеродные нанотрубки (проводящие многостенные УНТ серии «Таунит-М» со средним диаметром 10-30 нм и длиной более 2 мкм), при воздействии на композит магнитного поля с изменяющимся направлением вектора магнитной индукции.

- Экспериментально показано, что при размещении композита эпоксидная смола/магнитная жидкость (ЭС/МЖ) или эпоксидная смола/магнитная жидкость/углеродные нанотрубки (ЭС/МЖ/УНТ) в качестве нарушения в центральном слое фотонного кристалла, состоящего из чередующихся слоев поликора и фторопласта (всего 11 слоев), на частотной зависимости коэффициента отражения СВЧ излучения от такой структуры присутствует резкий минимум – дефектная мода – формой которой можно управлять, изменяя объемную долю компонентов, входящих в композит или величину и направление индукции магнитного поля, в частности, осуществлять подавление дефектной моды, при этом минимальное значение коэффициента отражения на частотной зависимости смещается вверх (вдоль положительного направления оси коэффициента отражения).

- Установлено, что нитевидные структуры из МЖ и УНТ,

образующиеся в процессе затвердевания в ЭС при приложении магнитного поля, обладают анизотропией электрофизических свойств, диэлектрическая проницаемость и электропроводность отличаются более чем в 10 раз при измерениях в ортогональных направлениях, в то время как для композитов с графитом данный показатель не превосходит двух. Диэлектрическая проницаемость в продольном/поперечном направлении для нитевидных структур из УНТ и графита составила 55.2/4.5 и 23.5/12.9, соответственно, а электропроводность 6.04/0.57 и 2.18/1.13 ($\Omega^{-1} \text{ м}^{-1}$).

- Установлено, что при нахождении в области действия локализованного магнитного поля с индукцией более 600 мТл, возникающего от постоянных неодимовых магнитов диаметром 60 мм, расположенных на расстоянии 50 мм, магнитная жидкость стягивается в область концентрации магнитных силовых линий, что позволяет управлять степенью неоднородности заполнения композита. При этом дефектная мода подавляется сильнее (дополнительно на 2 дБ при размещении композита, высушенного при индукции магнитного поля 1200 мТл).

- Разработана теоретическая модель, позволяющая рассчитывать частотную зависимость коэффициента отражения СВЧ излучения от участка волновода прямоугольного сечения, содержащего множество нитей микронных размеров, ориентированных параллельно электрической компоненте СВЧ волны.

Научная и практическая значимость результатов работы

- Установлен характер зависимости глубины модуляции поляризованного оптического излучения, проходящего через композит МЖ/УНТ, от длины волны оптического излучения.

- Разработан экспериментальный метод с использованием СВЧ фотонного кристалла, позволяющий в результате решения обратной задачи контролировать эффективные параметры композитов с нитевидными включениями, а также степень анизотропии электрофизических параметров самих включений.

- По положению минимума коэффициента отражения СВЧ излучения от СВЧ-фотонной структуры определены оптимальные значения магнитного поля, объемной доли МЖ и отношения массы УНТ к массе магнитных наночастиц при которых наблюдается максимальная разница параметров композитов ЭС/МЖ/УНТ, высушенных в присутствии магнитного поля и без магнитного поля.

- Разработанная физическая модель позволяет определять диэлектрическую проницаемость и электропроводность композитов, содержащих тонкие нитевидные включения с различными электрофизическими параметрами и толщинами менее 200 мкм, ориентированными параллельно электрической компоненте СВЧ волны в прямоугольном волноводе, в том числе, имеющих неоднородное заполнение.

Апробация работы. Основные результаты научных исследований докладывались и обсуждались на следующих международных и всероссийских научных конференциях: Всероссийская научная школа–семинара «Взаимодействие сверхвысокочастотного, терагерцового и оптического излучения с полупроводниковыми микро– и наноструктурами, метаматериалами и биообъектами». Саратов, 18–19 мая 2017 г., 16–17 мая 2018 г., 16–17 мая 2019 г., 19–20 мая 2020 г., 11–14 мая 2021 г., 24–25 мая 2023 г., 23–24 мая 2024 г., 22–23 мая 2025 г., 18 Международная Плесская конференции по нанодисперсным магнитным жидкостям. Плес, 4–7 сентября 2018 г.; VIII Международная Ставропольская конференция по магнитным коллоидам. Ставрополь, 10–14 сентября 2023 г.; IV Международная научно-техническая конференция «Нанотехнологии и наноматериалы: современное состояние и перспективы развития». Волгоград, 25–26 апреля 2024 г.

Полнота изложения материалов диссертации в работах. Результаты диссертационного исследования отражены в публикациях автора в полной мере. По теме диссертационной работы опубликовано 4 статьи в научных журналах, рекомендованных ВАК РФ для опубликования основных научных результатов диссертаций на соискание степени кандидата наук:

1. Постельга А.Э., Игонин С.В., Агапова Ю.А. Использование магнитных композитов для создания управляемых фотонных кристаллов // Известия РАН. Серия физическая. – 2024. – Т. 88. - № 10. - С. 1584–1592.

Личный вклад автора состоит в проведении экспериментального исследования, численных расчетов, а также написании и редактировании текста.

2. Постельга А.Э., Игонин С.В., Бочкова Т.С., Нагорнов Г.М., Скрипаль А.В. Модуляция лазерного излучения суспензией углеродных нанотрубок в магнитной жидкости // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Физика. - 2024. - Т. 24. - № 2. - С. 171–179.

Личный вклад автора состоит в проведении исследований, а также написании и редактировании текста.

3. Постельга А.Э., Игонин С.В. Измерение степени анизотропии электрофизических свойств композита эпоксидная смола — магнитная жидкость — углеродные нанотрубки // Дефектоскопия. – 2025. - № 2. - С. 53–67. DOI:10.31857/S0130308225020053

Личный вклад автора состоит в проведении экспериментального исследования, численных расчетов по определению электрофизических параметров, а также написании и редактировании текста.

4. Постельга А.Э., Игонин С.В. Расчет эффективной диэлектрической проницаемости и электропроводности композитов, содержащих проводящие ориентированные нити // ЖТФ. – 2026. – Т. 96. – № 1. – С. 71–91. DOI: 10.61011/JTF.2026.01.62039.62–25

Личный вклад автора состоит в постановке задачи, разработке физической модели и проведении компьютерного численного моделирования, а также написании и редактировании текста.

Также опубликовано 10 работ в сборниках материалов научных конференций, входящих в систему цитирования РИНЦ:

1. Усанов Д.А., Постельга А.Э., Бочкова, Т.С., Гаврилин В.Н., Игонин С.В. Модуляция поляризованного оптического излучения, проходящего через магнитную жидкость с нанотрубками, при воздействии магнитного поля с изменяющимся направлением // Взаимодействие сверхвысокочастотного, терагерцового и оптического излучения с полупроводниковыми микро- и наноструктурами, метаматериалами и биообъектами: Материалы четвертой Всероссийской научной школы-семинара / под ред. проф. Д. А. Усанова. Саратов: Изд-во «Саратовский источник». – 2017. – С. 31–34.

2. Усанов Д.А., Постельга А.Э., Бочкова Т.С., Игонин С.В. Применение теории возмущений для решения обратной задачи по определению параметров магнитной жидкости с учетом агломератов ферромагнитных наночастиц // Взаимодействие сверхвысокочастотного, терагерцового и оптического излучения с полупроводниковыми микро- и наноструктурами, метаматериалами и биообъектами: Сборник статей пятой Всероссийской научной школы-семинара / под ред. проф. Д. А. Усанова. Саратов: Изд-во «Саратовский источник». – 2018. – С.126–129

3. Бочкова Т.С., Игонин С.В., Усанов Д.А., Постельга А.Э. Влияние учета агломератов ферромагнитных наночастиц на определение параметров магнитной жидкости по температурной зависимости спектра отражения сверхвысокочастотного излучения // 18-я Международная Плесская научная конференция по нанодисперсным магнитным жидкостям. – 2018. – С. 341–352.

4. Усанов Д.А., Постельга А.Э., Бочкова, Т.С., Гаврилин В.Н., Игонин С.В. Модель взаимодействия магнитной жидкости, помещенной во внешнее магнитное поле, с электромагнитной волной СВЧ-диапазона // В сборнике: Взаимодействие сверхвысокочастотного, терагерцового и оптического излучения с полупроводниковыми микро- и наноструктурами, метаматериалами и биообъектами: Сборник статей шестой Всероссийской научной школы-семинара / под ред. проф. Д. А. Усанова. Саратов: Изд-во «Саратовский источник». – 2019. – С.151–155.

5. Постельга А.Э., Скрипаль Ал.В., Игонин С.В., Карева А.А. Управляемый магнитным полем фотонный кристалл СВЧ-диапазона // В сборнике: Взаимодействие сверхвысокочастотного, терагерцового и оптического излучения с полупроводниковыми микро- и наноструктурами, метаматериалами и биообъектами: Сборник статей седьмой Всероссийской научной школы-семинара / под ред. проф. Ал.В. Скрипаль. Саратов: Изд-во «Саратовский источник». – 2020. – С. 71-75.

6. Постельга А.Э., Скрипаль Ал.В., Игонин С.В., Простак Е.П. Применение управляемого магнитным полем фотонного кристалла свч-

диапазона для определения параметров мелкодисперсных сред // В сборнике: Взаимодействие сверхвысокочастотного, терагерцового и оптического излучения с полупроводниковыми микро- и наноструктурами, метаматериалами и биообъектами: Сборник статей восьмой Всероссийской научной школы–семинара / под ред. проф. Ал.В. Скрипаля. Саратов: Изд-во «Саратовский источник». – 2021. – С. 126-129.

7. Постельга А.Э., Игонин С.В., Агапова Ю.А. О возможности управления электрофизическими характеристиками фотонного кристалла при использовании в качестве нарушенного слоя магнитного композита // В сборнике: Сборник научных трудов VIII Ставропольской международной конференции по магнитным коллоидам ISCMC2023. Ставрополь. - 2023. - С. 91-98.

8. Постельга А.Э., Игонин С.В. Особенности отражения СВЧ-излучения от композита эпоксидная смола - магнитная жидкость - углеродные нанотрубки // В книге: Нанотехнологии и наноматериалы: современное состояние и перспективы развития. Сборник тезисов IV Международной научно-технической конференции. Волгоград. - 2024. - С. 30-32.

9. Постельга А.Э., Игонин С.В., Агапова Ю.А. Анизотропия коэффициента отражения СВЧ излучения от композита эпоксидная смола - магнитная жидкость - углеродные нанотрубки // В сборнике: Взаимодействие сверхвысокочастотного, терагерцового и оптического излучения с полупроводниковыми микро- и наноструктурами, метаматериалами и биообъектами. Сборник статей одиннадцатой Всероссийской научной школы-семинара / под ред. проф. Ал.В. Скрипаля – Саратов: Изд-во «Саратовский источник». - 2024. - С. 174-176.

10. Постельга А.Э., Игонин С.В., Агапова Ю.А. Модель волокнистого композита для расчета частотной зависимости коэффициента отражения СВЧ излучения. // В сборнике: Взаимодействие сверхвысокочастотного, терагерцового и оптического излучения с полупроводниковыми микро- и наноструктурами, метаматериалами и биообъектами. Сборник статей двенадцатой Всероссийской научной школы-семинара / под ред. проф. Ал.В. Скрипаля. Саратов: Изд-во «Саратовский источник». - 2025. - С. 209-212

Ценность научных работ соискателя учёной степени состоит в решении ряда задач, связанных с разработкой методов управления параметрами композитных материалов, разработкой методов контроля и прогнозирования характеристик композитных материалов.

Итоговое заключение. Диссертационная работа «Управление электрофизическими и электродинамическими параметрами композитных материалов с магнитными наночастицами и углеродными наноструктурами» Иголина Семена Владимировича является законченной научно-квалификационной работой, содержащей решение актуальных задач микро- и наноэлектроники и радиофизики, удовлетворяет критериям, установленным пп. 9-11, 13, 14 действующего «Положения о присуждении

