

«УТВЕРЖДАЮ»



Генеральный проректор-проректор по
научной работе РУДН
доктор медицинских наук,
профессор, член-корр. РАН

А.А. Костин

29.05.2025

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования «Российский университет дружбы народов имени
Патриса Лумумбы» (РУДН)
на основании решения, принятого на заседании кафедры нанотехнологий и
микросистемной техники инженерной академии

Диссертация Махасин Али Абделрхман Фрах «Электромагнитное загрязнение от радиоэлектронной аппаратуры и технологии материалов для защиты от него» представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.2.9. Проектирование и технология приборостроения и радиоэлектронной аппаратуры, выполнена на кафедре нанотехнологий и микросистемной техники инженерной академии.

Махасин Али Абделрхман Фрах, 1977 года рождения, гражданка Судана, в 2011 году закончила магистратуру Исламского университета в г. Омдурман, Судан по специальности «Техника связи».

С 20.10.2016 по 01.05.2023 обучалась в аспирантуре РУДН по программе подготовки научно-педагогических кадров по направлению, соответствующему научной специальности, по которой подготовлена диссертация.

С 28.04.2025 по 11.10.2025 прикреплена Махасин Али Абделрхман Фрах прикреплена на кафедру нанотехнологий и микросистемной техники инженерной академии Российского университета дружбы народов имени Патриса Лумумбы по научной специальности 2.2.9. «Проектирование и технология приборостроения и радиоэлектронной аппаратуры».

Справка о сдаче кандидатских экзаменов выдана в Российском университете дружбы народов имени Патриса Лумумбы в 03.03.2025.

В период подготовки диссертации соискатель работал в Российском университете дружбы народов имени Патриса Лумумбы, на кафедре нанотехнологий и микросистемной техники инженерной академии лаборантом.

Научный руководитель – Беляев Виктор Васильевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры нанотехнологий и микросистемной техники инженерной академии Российского университета дружбы народов имени Патриса Лумумбы.

Тема диссертации утверждена в окончательной редакции на заседании ученого совета инженерной академии РУДН 07.05.2025, протокол заседания № 2022-08/13.

По итогам обсуждения диссертации принято следующее заключение.

Диссертационная работа Махасин Али Абделрхман Фрах посвящена исследованию уровня электромагнитного излучения с учетом зон, где одновременно работают несколько элементов радиоэлектронной аппаратуры, и разработке технологии материалов фильтров для защиты от электромагнитного излучения.

Разработана оригинальная методика измерения уровня электромагнитного загрязнения от множества элементов радиоэлектронной аппаратуры, включающая в себя как измерение параметров электромагнитного излучения как элемента радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), так и в окружающем пространстве.

Выполнены измерения уровня электромагнитного загрязнения от разных элементов РЭА, работающих в диапазоне 1 МГц – 1 ТГц с мощностью излучения от 1 мВт до 1 Вт. Показано, что на расстоянии до 1 м от оператора уровень электромагнитного загрязнения при некоторых комбинациях элементов РЭА может превышать предельно допустимый уровень, предписанный нормативными документами для работы. Экспериментально показано, что наложение сигналов, сформированных различными радиоэлектронными приборами, может приводить к превышению уровня допустимого облучения оператора.

Разработана и экспериментально верифицирована модель прогнозирования и оценки электромагнитного излучения от различных источников радиоэлектронных приборов. Справедливость предложенной модели, дающей расчетные значения для разных источников и их комбинаций, подтверждается согласием расчетных и экспериментальных данных. Расхождение расчетного и экспериментальных значений напряженности электрического поля электромагнитного излучения (ЭМИ) варьируется от 1 до 9%, напряженности магнитного поля от 6 до 17%, мощности излучения от 0,2 до 25% для сложных комбинаций источников излучения.

Разработаны технологии материалов фильтров для защиты от электромагнитного излучения на основе стекла с имплантированными наночастицами переходных металлов, металло-пластиковой фольги, стекол с различными видами покрытий из окиси индия и олова (ИТО). Выполнены измерения уменьшения параметров электромагнитного излучения (напряженности электрического поля, напряженности магнитного поля, мощности излучения) при прохождении через пленки этих материалов.

Покрытия из разработанных и исследованных материалов обеспечивают уменьшение параметров электромагнитного излучения – для ноутбука от 57 до 88%, мобильного телефона от 23 до 73%, микроволновой печи от 15 до 98%. Предложены рекомендации для практического применения для защиты от электромагнитного излучения различных радиоэлектронных приборов.

Продемонстрирована возможность создания стабильных пленок на основе окиси цинка для уменьшения параметров электромагнитного излучения. Изучен процесс синтеза многослойных периодических структур (сверхрешеток) с высокой структурной разупорядоченностью на основе повторяющихся систем $\text{ZnO}/\text{ZnO}:\text{Al}$, а также их структура и физические свойства.

В результате получены следующие инновационные результаты.

Разработанная методика измерения уровня электромагнитного загрязнения (ЭМЗ) используется в более широком пространстве около оператора для большего количества источников электромагнитного загрязнения и, соответственно, большего количества возможных комбинаций этих источников, а также большего количества параметров электромагнитного излучения.

Впервые протестированы пятнадцать сценариев трех параметров электромагнитного излучения от четырех различных источников радиоэлектронных приборов и комбинаций из двух, трех и четырех приборов.

Разработанная и экспериментально верифицирована модель прогнозирования и оценки электромагнитного излучения от различных источников радиоэлектронных приборов их комбинаций обеспечивает согласие расчетных и экспериментальных данных. Расхождение расчетного и экспериментальных значений напряженности электрического поля ЭМИ варьируется от 1 до 9%, напряженности магнитного поля от 6 до 17%, мощности излучения от 0,2 до 25% для сложных комбинаций источников излучения.

Впервые разработаны материалы фильтров для защиты от электромагнитного излучения на основе нескольких технологий - стекла с имплантированными наночастицами переходных металлов, металлопластиковой фольги, стекол с различными видами покрытий ИТО, многослойных периодических структур (сверхрешеток) с высокой структурной разупорядоченностью на основе повторяющихся систем $\text{ZnO}/\text{ZnO}:\text{Al}$.

Автор принимал непосредственное личное участие в получении основных результатов диссертационной работы.

Автору принадлежит ведущая роль в выборе направления исследования, анализе и обобщении полученных результатов. Автор лично разработал методику измерений, теоретическую основу модели, провел численное моделирование, получил, проанализировал и обобщил экспериментальные результаты, а затем написал рукопись диссертации. Вклад автора является определяющим и заключается в непосредственном участии на всех этапах исследования: от постановки задач и их реализации до обсуждения результатов в научных публикациях и докладах на конференциях.

- С 2019 по 2024 г. Махасин Али Абделрхман Фрах являлась участником ряда российских и международных научных и научно-практических конференций: Конференция «Инженерные системы», Инженерная академия РУДН, 4-5 марта 2019 г.; Международная научная конференция молодых ученых МГОУ «Наука на благо человечества», 17-18 апреля 2019 г.; Международная конференция «Перспективная элементная база микро- и нанoeлектроники с использованием современных достижений теоретической физики», МГОУ, Москва, 20 – 23 апреля 2021 г., Россия.

Автор также выступал с докладами на тематических семинарах РУДН. Личное участие автора в получении изложенных в диссертации результатов подтверждено соавторами и отражено в совместных публикациях.

Достоверность результатов диссертационной работы подтверждается использованием стандартных экспериментальных методов измерения параметров электромагнитного излучения, применением апробированных и теоретически обоснованных методов, систематическим тестированием разработанных моделей, результатами других авторов, а также успешным использованием в практической работе.

Новизна результатов проведенных исследований состоит в следующем:

- Разработанная методика измерения уровня электромагнитного загрязнения используется в более широком пространстве около оператора для большего количества источников ЭМЗ и, соответственно, большего количества возможных комбинаций этих источников, а также большего количества параметров электромагнитного излучения.
- Впервые протестированы пятнадцать сценариев трех параметров электромагнитного излучения от четырех различных источников радиоэлектронных приборов и комбинаций из двух, трех и четырех приборов.
- Разработанная и экспериментально верифицирована модель прогнозирования и оценки электромагнитного излучения от различных источников радиоэлектронных приборов их комбинаций обеспечивает согласие расчетных и экспериментальных данных. Расхождение расчетного и экспериментальных значений напряженности электрического поля ЭМИ варьируется от 1 до 9%, напряженности магнитного поля от 6 до 17%, мощности излучения от 0,2 до 25% для сложных комбинаций источников излучения.
- Впервые разработаны материалы фильтров для защиты от электромагнитного излучения на основе нескольких технологий - стекла с имплантированными наночастицами переходных металлов, металлопластиковой фольги, стекол с различными видами покрытий ИТО, многослойных периодических структур (сверхрешеток) с высокой структурной разупорядоченностью на основе повторяющихся систем $\text{ZnO}/\text{ZnO}:\text{Al}$.

Практическая значимость диссертационной работы состоит в том, что полученные результаты позволяют обосновать следующее их практическое применение в реальных приборах и системах:

- Оригинальная методика измерения уровня электромагнитного загрязнения может быть использована для измерения не менее трех параметров электромагнитного излучения от произвольного количества элементов радиоэлектронной аппаратуры и их различных комбинаций.
- Модель электромагнитного излучения от различных источников радиоэлектронных приборов может быть использована для прогнозирования и оценки уровня создаваемого ими электромагнитного загрязнения при произвольном количестве источников и для предотвращения превышения уровня допустимого облучения оператора.
- Покрытия из разработанных и исследованных материалов обеспечивают существенное уменьшение параметров электромагнитного излучения (от 15 до 98%). Предложены рекомендации для практического применения для защиты от электромагнитного излучения различных радиоэлектронных приборов. При этом многие из этих материалов сохраняют свои функциональные свойства, в частности, оптическую прозрачность.

Ценность научных работ соискателя состоит в том, что полученные им результаты позволяют повысить уровень безопасности рабочего места оператора, использующего различные радиоэлектронные приборы с электромагнитным излучением в разных диапазонах, уменьшить стоимость изделия.

Область диссертационного исследования соответствует пунктам 1, 3, 4 и 5 паспорта научной специальности 2.2.9 «Проектирование и технология приборостроения и радиоэлектронной аппаратуры».

Полнота изложения материалов диссертации обеспечена их публикацией в рецензируемых научных журналах, в том числе публикацией за последние 5 лет 3-х статей в изданиях, рецензируемых в международных реферативных базах данных и системах цитирования, и 2 статьи в издании из Перечня ВАК РФ. Полный перечень публикаций соискателя, в которых изложены основные научные результаты диссертационного исследования, приведен в диссертации и автореферате диссертации.

Текст диссертации был проверен на использование заимствованного материала без ссылки на авторов и источники заимствования. После исключения всех корректных совпадений иных заимствований не обнаружено. Согласно заключению об оригинальности №150125-1 от 15.01.2025 г. Экспертно-аналитического центра РАН оригинальный текст составляет 89,06% диссертации.

Диссертация «Электромагнитное загрязнение от радиоэлектронной аппаратуры и технологии материалов для защиты от него» Махасин Али Абделрхман Фрах рекомендуется к публичной защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.2.9. «Проектирование и технология приборостроения и радиоэлектронной аппаратуры».

Заключение принято на заседании кафедры нанотехнологий и микросистемной техники инженерной академии РУДН. Присутствовало на заседании 15 чел.

Результаты голосования: «за» – 15 чел., «против» – 0 чел., «воздержался» – 0 чел., протокол заседания № 2022-17-02/09 от 14.05.2025.

Председательствовавший на заседании:

Доцент кафедры нанотехнологий
и микросистемной техники,
кандидат технических наук, доцент

С.В. Агасиева

Подпись С.В. Агасиевой удостоверяю.
Ученый секретарь ученого совета
инженерной академии РУДН



О.Е. Самусенко