

ОТЗЫВ

официального оппонента

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

Улучшение параметров радиоэлектронных устройств микро- и нанoeлектроники стимулирует постоянный поиск новых материалов и более доступных технологических подходов не только с точки зрения технических характеристик материалов и устройств на их основе, но и эргономических свойств, связанных, прежде всего с безопасностью работы оператора. В частности, одновременное использование нескольких радиоэлектронных приборов может вызвать превышение уровня электромагнитного загрязнения выше уровня, предусмотренного нормативами. Поэтому исследование различных аспектов электромагнитного загрязнения и методов борьбы с ним является чрезвычайно актуальной задачей с точки зрения как фундаментальной, так и прикладной науки.

В целом представленная диссертация представляет собой комплексный, системный подход для решения поставленных задач. Достоинством работы является достаточно полное описание параметров электромагнитного загрязнения, причин его возникновения, биомедицинского воздействия многих типов радиоэлектронных приборов, излучающих в различных диапазонах электромагнитного спектра, на различные ткани и органы живых организмов, включая человека; разработка модели электромагнитного излучения от множества источников; разработка эффективной методики измерения ряда параметров электромагнитного излучения; поиск и разработка материалов и устройств для эффективного подавления уровня электромагнитного загрязнения.

В качестве материалов – претендентов для использования в системах подавления электромагнитного загрязнения предложено множество типов материалов – стекла с имплантированными наночастицами, металл-полимерные фольги, пленки с окислами переходных металлов. Как правило, эти системы, кроме способности поглощать РЧ излучение, обладают еще и прозрачностью. В литературном обзоре автором проделана

также большая работа по свойствам других типов материалов, в том числе органических.

В работе исследованы сравнительно дешевые, доступные в России, материалы и технологии создания структур, позволяющие добиться приемлемого качества систем подавления электромагнитного загрязнения.

Среди бесспорных преимуществ исследованных методов создаваемых пленок являются простота реализации и контроля параметров слоя, возможность контролируемого нанесения и создания структур с уникальным составом и свойствами.

Все эти отдельные вопросы являются составными частями более общей нерешённой задачи, которую соискатель ставит и успешно решает в своей диссертационной работе.

В этой связи цели и задачи работы являются **очень актуальными** и представляют большой интерес, что подтверждается соответствием направления работ соискателя с приоритетным направлением развития науки, технологий и техники в Российской Федерации – «Индустрия наносистем», и критической технологией – «Технологии получения и обработки функциональных наноматериалов».

Все эти задачи обстоятельно решены в диссертационной работе М.А.А. Фрах, где представлены следующие **новые научные результаты**:

1. 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.
1. Впервые протестированы пятнадцать сценариев трех параметров электромагнитного излучения от четырех различных источников радиоэлектронных приборов и комбинаций из двух, трех и четырех приборов.
1. 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.
1. Впервые разработаны материалы фильтров для защиты от электромагнитного излучения на основе нескольких технологий - стекла с имплантированными

наночастицами переходных металлов, металло-пластиковой фольги, стекол с различными видами покрытий из окиси индия и олова (ITO), многослойных периодических структур (сверхрешеток) с высокой структурной разупорядоченностью на основе повторяющихся систем $ZnO/ZnO:Al$.

Полученные в исследовании данные обладают несомненной **практической значимостью** для радиоэлектроники:

1. 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.
1. 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.
1. 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.

Актуальность работы, её научная новизна и практическая значимость подтверждается 6 публикациями в изданиях, включенных в Перечень ВАК, базы цитирования Web of Science, Scopus и применением в производстве полученных результатов, что подтверждается актом внедрения от ООО «НТК МГТУ им. Н.Э. Баумана».

Достоверность полученных результатов обеспечена использованием современных методов исследования и оборудования, согласованностью ряда результатов с опубликованными для аналогичных материалов и процессов в научных изданиях. По материалам работы имеется 9 публикаций, в том числе 2 статьи из перечня ВАК, 4 в зарубежных изданиях, включённых в системы цитирования Web of Science, Scopus, три статьи в других научных изданиях.

Результаты, представляемые на защиту и составляющие научную новизну, получены автором лично и при участии коллег автора, что подтверждается их

соавторством в опубликованных работах. Автором сформулированы цели и задачи исследования, научная новизна, практическая значимость и основные положения, выносимые на защиту, подготовлены экспериментальные образцы, проведено исследование их характеристик и обобщены полученные результаты.

Обоснованность научных положений, выводов и результатов, сформулированных в диссертации, подтверждается корректной постановкой задачи исследования, применением методов математического моделирования, использованием современных приборов и методов исследования, прошедших метрологическую поверку.

Основное содержание работы

Диссертация представлена на 122 страницах машинописного текста, содержит 7 основных разделов, включая введение, 4 главы, заключение, список литературы (в который включены 92 источника). Работа содержит 20 таблиц и 33 рисунка и список сокращений.

Во введении обосновывается актуальность работы; приводится цель, задачи, научная новизна, практическая значимость и положения, выносимые на защиту, а также структура диссертации.

В первой главе приведён анализ литературы по определению электромагнитного излучения, его параметров, биомедицинского воздействия на живые организмы, по моделированию электромагнитного излучения, по материалам и методам защиты от него. На основании приведенных данных сформулированы цель и задачи работы.

Во второй главе описываются методы измерения трех основных параметров ЭМЗ - напряженность магнитного поля (мА/м), напряженность электрического поля (В/м) и плотность мощности (мВт/м²). Измерения всех трех параметров выполнялись в 45 точках над ноутбуком, перед ним и по разные стороны от него с разными комбинациями приборов, генерирующих электромагнитное загрязнение – вай-фай роутер, мобильный телефон, микроволновая печь. При измерениях обеспечивалась точность определения основных параметров до 0,1 мВ/м, 0,1 мкА/м, 0,001 мкВт/м².

Третья глава является самой большой по объему и количеству представленных данных. В первом параграфе этой главы представлена физическая и математическая модель электромагнитного загрязнения от множества источников. В ней разработана методология сравнения трех параметров электромагнитного загрязнения (ЭМИ) с использованием одного, двух, трех и четырех источников. Эта модель применена для оценки ЭМИ от различных источников ЭМЗ и их комбинаций.

Приведенные в диссертации экспериментальные данные свидетельствуют о справедливости предложенной автором модели, дающей расчетные значения для разных источников и их комбинаций близкие к экспериментальным. Согласно тексту, на стр.47, 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.

Особую практическую важность имеют случаи превышения уровня ЭМИ для комбинации источников по сравнению с суммой интенсивности ЭМИ для каждого источника. Иногда, наоборот, наблюдается снижение уровня электромагнитного загрязнения.

Ключевой в этой главе является табл. 3.5, в которой суммируются данные по всем возможным комбинаций источников радиоэлектронного загрязнения.

В четвертой главе приведены результаты разработки и тестирования различных материалов и способов получения структур, обеспечивающих уменьшение уровня проходящего через них электромагнитного излучения и, соответственно, защиту от его воздействия на оператора.

Впервые проведено всестороннее исследование свойств различных типов фильтров, защищающих от электромагнитного (ЭМ) излучения современных радиоэлектронных устройств для личного пользования. Анализ проводился для всех компонентов электромагнитного загрязнения, включая напряженность электрического и магнитного полей и мощность излучения. Защитные фильтры были изготовлены с использованием различных технологий, включая наночастицы переходных металлов, имплантированные в стекло, металлопластиковую фольгу, стекла с различными видами покрытий из оксидов металлов на основе ITO и ZnO. Получены значения коэффициентов снижения электромагнитного загрязнения для различных типов защитных фильтров, что позволило дать рекомендации по их практическому применению.

Особую ценность имеют различные варианты технологий покрытий на основе оксидов индия и олова, нанесенных на стеклянные и пластиковые подложки при различных режимах (параграф 4.2). В параграфе 4.3 подробно изучены процессы синтеза многослойных периодических структур (сверхрешеток) с высокой структурной разупорядоченностью на основе повторяющихся систем ZnO/ZnO:Al, а также их структура и физические свойства.

Для этих двух типов пленок приведены также данные по оптическому пропусканию, что делает эти материалы привлекательными для практического

применения в дисплеях.

Всего было исследовано несколько десятков образцов, изготовленных по разным технологиям. Для всех были получены полные комплекты параметров электромагнитного излучения, прошедшего через эти образцы.

Описаны практически важные случаи уменьшения пропускания электромагнитного излучения при использовании различных радиоэлектронных приборов и их комбинаций.

В заключении приводятся основные выводы и результаты диссертационного исследования, которые полностью отражают полученные результаты и подчеркивают их значимость.

Текст автореферата в полной мере отражает основные выводы и положения диссертации.

Диссертационное исследование соответствует паспорту специальности 2.2.9. Проектирование и технология приборостроения и радиоэлектронной аппаратуры в пунктах:

п.1. Научное обоснование новых и совершенствование существующих методов проектирования и производства информационно-измерительных приборов, систем контроля и диагностирования, радиоэлектронной аппаратуры и их элементов на базе решения проблем обеспечения надежности их работы и экологической безопасности окружающей среды;

п.3. Разработка, внедрение, исследование новых, совершенствование традиционных материалов и технологических процессов их получения для информационно-измерительных приборов, систем контроля и диагностирования, радиоэлектронной аппаратуры и их элементов, обеспечивающих эффективное применение, надежность, стойкость к внешним воздействующим факторам и экологическую безопасность окружающей среды на этапах проектирования, изготовления и эксплуатации;

п.4. Разработка, исследование и внедрение новых видов технологического оборудования для изготовления деталей, сборки, регулировки, контроля и испытаний приборов с учётом решения вопросов обеспечения их надежности, экологической безопасности окружающей среды и возможности внедрения в цифровые информационные технологии;

п.5. Разработка и внедрение систем автоматизированного проектирования технологических процессов и технологического оснащения приборостроительного

производства с учётом решения вопросов обеспечения их эффективного применения, надёжности, стойкости к внешним воздействующим факторам и экологической безопасности окружающей среды, возможности внедрения в цифровые информационные технологии.

Замечания по диссертации.

- 1) При описании электромагнитного загрязнения от разных источников в параграфе 2.3.3 на стр.43 не приведены данные для вай-фай роутера.
- 2) В Табл.3.3, 3.4, 3.5 некоторые параметры приведены с избыточным количеством знаков после запятой, не соответствующим погрешности измерений.
- 3) На рис.4.9 в схеме эксперимента показаны компоненты электромагнитного излучения: падающая волна, отраженная, поглощенная и прошедшая. А в данных, представленных в таблицах, показана только компоненты прошедшей волны. Было бы правильно представить данные и по другим компонентам.
- 4) В таблицах 4.9 — 4.12 на стр. 83 и 84 диссертации данные по электрическому и магнитному полю, а также по мощности ошибочно представлены с размерностями физических величин. По смыслу это величины, нормированные на данные для стекла без покрытия.

Отмеченные недостатки не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы и не подвергают сомнению ее научную и практическую значимость. Работа Махасин Али Абделрхман Фрах выполнена на высоком научно-техническом уровне, является законченным научным трудом и отвечает всем требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям.

Тема диссертации, ее содержание, цель, задачи и методы их достижения, научные положения и полученные результаты соответствуют паспорту специальности 2.2.9. Проектирование и технология приборостроения и радиоэлектронной аппаратуры.

Таким образом, можно сделать следующее заключение.

Диссертационное исследование Махасин Али Абделрхман Фрах является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится новое решение научной задачи по исследованию и разработке способов защиты от электромагнитного излучения радиоэлектронной аппаратуры, имеющей важное значение для развития технических наук. В диссертации изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения и разработки, имеющие существенное значение для развития теории и практики в области проектирования и изготовления радиоэлектронной аппаратуры.

Работа соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук согласно пункту 2.2 Положения о присуждении ученых степеней в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы», утвержденного ученым советом РУДН (протокол № УС-1 от 22.01.2024), а её автор, Махасин Али Абделрхман Фрах, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.9. Проектирование и технология приборостроения и радиоэлектронной аппаратуры.

профессор кафедры технологий приборостроения факультета радиоэлектроники и лазерной техники,

ФГАОУ ВО Московский государственный
технический университет имени Н. Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)

доктор технических наук по специальности 2.2.9. Проектирование и технология приборостроения и радиоэлектронной аппаратуры, доцент

Гудков Александр Григорьевич

09.12.2025

подпись

Тел.: +79857604579

E-mail: profgudkov@gmail.com

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана»,

Адрес: 105005, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, д.5, стр.1

Подпись профессора Гудкова А.Г. заверяю

Ведущий специалист по персоналу:

Шваба

ШАГАБУТДИНОВА И. В.

