

ОТЗЫВ

официального оппонента

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

В связи с развитием в последнее десятилетие современных средств коммуникаций, компьютерной и бытовой техники возникла необходимость не только существенного улучшения их технических характеристик и придания новых функций, но и защиты пользователей от электромагнитного излучения радиоэлектронных приборов. Эта проблема напрямую касается комфорта жизнедеятельности человека. Действительно, сейчас каждый человек окружен множеством таких приборов, излучающих в мега- и терагерцовом диапазоне. При этом определенный вид излучения по особому воздействию на разные органы человека и других живых существ. Одновременное использование множества приборов может привести к превышению уровня электромагнитного излучения над уровнем, предписанным в САНПиН, что может вызвать не только воздействие на кожный покров, но и на смещение, поражение жизненно важных органов.

Поэтому задача исследования электромагнитного излучения от множества источников и способов защиты от него является актуальной с точки зрения не только прикладной, но и фундаментальной науки, а поставленная работа является своевременной.

Представленная к защите диссертация Махасин Фрах содержит комплекс разнонаправленных исследований для решения этой проблемы. Она разработала физико-математическую модель электромагнитного загрязнения от нескольких радиоэлектронных приборов; предложила методику измерения трех основных компонентов электромагнитного излучения; на основе этой методики выполнила измерения огромного количества комбинаций различных приборов, излучающих в МГц и ТГц диапазонах. Интересной частью работы является комплексное изучение самых различных материалов, поглощающих электромагнитное излучение, и измерение уровня этого излучения от широко используемых приборов и их сочетаний. Набор этих материалов включает в себя самые разные типы веществ, а именно: стекла, металл, полимеры, тонкие пленки окислов переходных элементов.

Поэтому представленная диссертация имеет высокую **актуальность**, она соответствует критической технологии, как-то: «Технологии получения и обработки функциональных наноматериалов», а также приоритетному направлению развития науки, технологий и техники в Российской Федерации – «Индустрия наносистем».

Поставленные задачи комплексно решены в диссертации М.А.А. Фрах; ею получены **новые научные результаты**:

1. Разработан метод исследования уровня электромагнитного загрязнения (ЭМЗ), который применяется в большем охвате пространства вокруг оператора для большего количества и ассортимента радиоэлектронных приборов и большего количества их комбинаций, а также большего количества параметров электромагнитного излучения.
2. Впервые исследованы пятнадцать сценариев измерения трех параметров электромагнитного излучения от четырех различных источников радиоэлектронных приборов и комбинаций из двух, трех и четырех приборов.
3. Разработана и экспериментально проверена модель предсказания и оценки электромагнитного излучения от различных источников радиоэлектронных приборов и их комбинаций. Модель 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 разных комбинаций источников излучения.
4. Впервые разработаны материалы фильтров для защиты от электромагнитного излучения на основе нескольких технологий, а именно: стекла с имплантированными наночастицами переходных металлов, металлопластиковой фольги, стекол с различными видами покрытий из оксидов индия и олова (ИТО), сверхрешеток на основе повторяющихся систем $\text{ZnO}/\text{ZnO:Al}$ с высокой структурной разупорядоченностью.

Практической значимостью диссертации для радиоэлектроники заключается в следующих положениях:

1. Разработана и усовершенствована оригинальная методика измерения уровня ЭМЗ, которая используется для измерения не менее трех параметров электромагнитного излучения при произвольном количестве радиоэлектронных приборов и их комбинациях.
2. Разработана оригинальная модель электромагнитного излучения от различных радиоэлектронных приборов, применяемая для прогнозирования и оценки уровня создаваемого ими электромагнитного загрязне-

ния при произвольном количестве источников, а также для предотвращения превышения уровня допустимого облучения оператора.

3. Разработаны оригинальные технологии тонкопленочных и объемных материалов, обеспечивающие уменьшение от 15 до 98% параметров электромагнитного излучения. Предложены рекомендации для практического применения для защиты от электромагнитного излучения различных радиоэлектронных приборов. При этом многие из этих материалов сохраняют оптическую прозрачность и функциональные свойства.

Актуальность работы, её научная новизна и практическая значимость подтверждается статьями в ведущих российских и международных научных журналах. Стоит отметить, что 6 публикаций представлены в изданиях, включенных в Перечень ВАК, базы цитирования Web of Science и Scopus. Часть результатов используется в ООО «НТК МГТУ им. Н.Э. Баумана», что подтверждается соответствующим актом внедрения.

Достоверность полученных результатов достигается при применении современных методов и приборов, при использовании довольно широкого парка инструментария; часть результатов соответствует данным в публикациях для аналогичных материалов и технологий. По материалам работы есть 9 публикаций, в том числе 2 статьи из перечня ВАК (перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук), 4 в признанных международных журналах, входящих в базы цитирования Web of Science и Scopus, три статьи в других журналах, в том числе в журнале из Перечня ВАК по физической специальности.

Результаты получены соискателем лично. Автором сформулированы цели и задачи исследования, научная новизна, практическая значимость и основные положения, выносимые на защиту, разработаны методики измерений, подготовлены экспериментальные образцы, проведено изучение их характеристик и обобщены полученные результаты.

Основное содержание работы

Диссертация содержит 122 страницы машинописного текста, она состоит из 7 основных разделов (введение, 4 главы, заключение, список литературы (в который включены 92 источника)). В работе приведено 33 рисунка, 20 таблиц, имеется список сокращений.

Во введении обосновывается актуальность работы; формулируются цель и задачи, научная новизна, практическая значимость и положения, выносимые на защиту.

В первой главе приведён анализ литературы по определению параметров электромагнитного излучения и электромагнитного загрязнения (ЭМИ и ЭМЗ, соответственно), воздействия на живые организмы, анализ моделей ЭМИ, обзор по материалам и методам защиты от ЭМЗ. На основании приведенных данных сформулированы цель и задачи работы.

Во второй главе приведены методы измерения трех основных параметров ЭМЗ - напряженность магнитного поля (мА/м), напряженность электрического поля (В/м) и плотность мощности (мВт/м²) и характеристики измерительных приборов. Их измерения выполнены в нескольких десятках точек над портативным компьютером и около него с различными комбинациями радиоэлектронных приборов – мобильный телефон, Wi-Fi роутер, микроволновая печь. Точность измерения параметров до 0,1 мВ/м, 0,1 мкА/м, 0,001 мкВт/м².

В третьей главе представлен большой по теоретическим и экспериментальным исследованиям материал. В первом параграфе разработана физическая и математическая модель ЭМЗ от множества источников. Представлен метод сопоставления параметров электромагнитного загрязнения (ЭМИ) при наличии одного, двух, трех или четырех источников. Эта модель применена для оценки ЭМИ от различных источников ЭМЗ и их комбинаций.

Обращает на себя внимание, что в диссертации приведено огромное количество экспериментальных данных по трем компонентам ЭМИ. Рассчитанные значения для разных источников и их комбинаций близки к экспериментальным, что говорит о верности предложенной автором модели. Расхождение расчетного и экспериментальных значений напряженности электрического поля ЭМИ находится в диапазоне от 1 до 9%, напряженности магнитного поля - от 6 до 17%, мощности излучения - от 0,2 до 25% для всех наборов источников излучения. Особое значение для использования в практике имеют случаи высокого уровня ЭМИ для комбинации источников по сравнению с суммой интенсивности ЭМИ от каждого источника. В табл. 3.5 этой главы сопоставляются данные по всем возможным комбинаций источников радиоэлектронного загрязнения.

В четвертой главе разработаны и испытаны различные материалов и технологии структур для снижения уровня ЭМИ, проходящего через них, и, защите от воздействия ЭМИ на пользователя.

Впервые систематически исследованы свойства различных фильтров, защищающих от электромагнитного (ЭМ) излучения современные радиоэлектронные устройства.

Анализ выполнен для напряженности электрического и магнитного полей и мощности излучения. Защитные фильтры изготовлены с использованием различных технологий, включая имплантированные в стекло наночастицы переходных металлов, фольгу из металла, нанесенного на пластиковую подложку, стеклянные подложки с различными видами пленок оксидов металлов на основе ITO и ZnO. Экспериментально измерены величины уменьшения ЭМЗ для различных типов защитных фильтров. Выработаны рекомендации по их практическому применению материалов и конструкций фильтров.

Наиболее важными являются технологии покрытий на основе оксидов индия и олова на стеклянных и пластиковых подложках. В параграфе 4.3 детально исследовано получение сверхрешеток (многослойных периодических структур) на основе повторяющихся систем ZnO/ZnO:Al с высокой структурной разупорядоченностью, а также их физические свойства и структура. Для оксидных пленок измерено оптическое пропускание. Это позволяет использовать данные материалы в электрооптических устройствах отображения и обработки оптической информации.

Для десятков образцов, изготовленных по разным технологиям, получены полные наборы параметров ЭМИ, 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, надежности, стойкости к внешним воздействующим факторам и экологической безопасности окружающей среды, возможности внедрения в цифровые информационные технологии.

Замечания по диссертации.

1. В математической модели интенсивности электромагнитного загрязнения ЕМРІ в главе 3 не учтены параметры материалов в зависимости от частоты ЭМИ.

2. В диссертации есть ссылки на международные нормативные документы по ЭМИ и ЭМЗ, но недостаточно ссылок на российские документы.

3. Полезно было бы привести в обзоре и Главе 2 анализ методов измерения ЭМИ.

4. Достоинством работы является исследование множества материалов для защиты от ЭМЗ. Но было бы важно и полезно проанализировать зависимости поглощения ЭМИ в этих материалов, в том числе и на основе подходов, частично описанных в литературном обзоре.

5. Имеется ряд опечаток. Например, не наклонены Латинские символы на стр.19, 22, 45, др.

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.

Закключение

Диссертационное исследование Махасин Али Абделрхман Фрах является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится новое решение научной задачи по разработке и исследованию методов защиты от электромагнитного излучения радиоэлектронной аппаратуры, имеющей важное значение для технических наук. В диссертации изложены оригинальные научно обоснованные технологические и технические 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.

Начальник отдела «Фотофизика наноструктурированных материалов и устройств»

Акционерное общество "НПО ГОИ им.С.И. Вавилова",
профессор СПбЭТУ «ЛЭТИ»

Федеральный эксперт РФ в научно-технической сфере,
Доктор физико-математических наук, ст.н.с.

Н.В. Каманина /Каманина Наталия Владимировна/

Тел.: + +7 911 981 1199

E-mail: nvkamanina@mail.ru

Подпись д.ф.-м.н. Каманиной Н.В. заверяю

Подпись руки Каманиной Наталии Владимировны
заверено
ведущий документов Сергей Г.А. 11.08.2025

