

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»

Улучшение параметров радиоэлектронных устройств микро- и наноэлектроники 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.

Для современных пользователей радиоэлектронной аппаратуры изучение параметров электромагнитного излучения (ЭМИ) и разработка средств защиты от электромагнитного загрязнения, создаваемого этой аппаратурой, стало насущной проблемой.

В рассматриваемой диссертации Махасин А.А. Фрах предложено системное решение поставленной цели. В тексте диссертации приведено подробное описание характеристик электромагнитного излучения, влияния различных радиоэлектронных приборов на органы человека; предложена оригинальная модель ЭМИ от комплекса источников; эффективно усовершенствована оригинальная методика измерения параметров ЭМИ, расширенная на напряженность электрического и магнитного полей; исследованы и разработаны электронные материалы, обеспечивающие уменьшение параметров ЭМИ.

Интерес представляет и перечень материалов для решения цели работы. Стекла с наночастицами оксидов металлов, внедренными (имплантированными) в стекло, фольговые материалы, тонкие прозрачные пленки с оксидами металлов (индий, олово, цинк, алюминий), являются перспективными покрытиями. В обзоре современных публикаций представлены данные по свойствам органических материалов сложного строения. При этом в диссертации применялись доступные в нашей стране, но обладающие нужной эффективностью вещества.

Цели и задачи работы являются **актуальными** и соответствуют критической технологии – «Технологии получения и обработки функциональных наноматериалов» и приоритетному направлению развития науки, технологий и техники в Российской Федерации – «Индустрия наносистем».

Они комплексно решены М.А.А. Фрах в ее диссертации; получены следующие **новые научные результаты**:

1. Разработанная методика измерения уровня электромагнитного загрязнения используется в более широком пространстве около оператора для большего количества источников электромагнитного излучения и, соответственно, большего количества возможных комбинаций этих источников, а также большего количества параметров электромагнитного излучения.
2. Впервые протестированы пятнадцать сценариев трех параметров электромагнитного излучения от четырех различных источников радиоэлектронных приборов и комбинаций из двух, трех и четырех приборов.
3. 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.
4. 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 $\text{ZnO}/\text{ZnO}:\text{Al}$.

Практической значимостью диссертации для радиоэлектроники заключается в следующих положениях:

1. Разработана и усовершенствована оригинальная методика измерения уровня электромагнитного загрязнения, которая может быть использована 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, ее можно применять для прогнозирования и оценки уровня создаваемого ими электромагнитного загрязнения при произвольном количестве источников и для предотвращения превышения уровня допустимого облучения оператора.
3. Разработаны технологии тонкопленочных и объемных материалов, обеспечивающие 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 статьями в ведущих российских и международных научных изданиях. 6 публикаций представлены в изданиях, включенных в Перечень ВАК, базы цитирования Web of Science, Scopus. Применение в производстве полученных результатов подтверждается актом внедрения от ООО «НТК МГТУ им. Н.Э.

Баумана».

Достоверность полученных результатов достигнута за счет применения современных приборов и методов, некоторые результаты соответствуют данным, представленных в публикациях для подобных материалов и технологий. По материалам работы имеется 9 публикаций, в том числе 2 статьи из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, 4 в международных журналах, входящих в базы цитирования Web of Science и Scopus, три статьи в других журналах.

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 по структуре соответствует методическим рекомендациям ВАК, состоит из 7 разделов, включая введение, 4 главы, заключение, список литературы. В работе 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 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 комбинациям 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 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 ИТО 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, надежности, стойкости к внешним воздействующим факторам и экологической безопасности окружающей среды, возможности внедрения в цифровые информационные технологии.

Замечания по диссертации.

1. В литературном обзоре на стр. 21 приведено краткое теоретическое описание поглощения электромагнитного излучения. К сожалению, отсутствуют количественные оценки поглощения ЭМИ различными материалами в главе 4.

2. В методической части диссертации нет ссылок на другие методы измерения электромагнитного загрязнения, кроме работы Бродича.

3. Таблицы 3.3 и 3.4 громоздкие, нелегко сопоставить приведенные данные с комментарием на стр.57-59.

4. В автореферате отсутствует расшифровка термина ЭМЗ.

5. В параграфе 4.3 приведено довольно подробное описание технологии и структуры пленок на основе оксида цинка. Хотелось бы, чтобы также подробно были представлены и данные по пленкам других материалов.

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.

Заключение

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.

заместитель начальника управления средств
визуализации АО "ЦНИИ "Циклон"
кандидат технических наук, (05.27.06)



Нуриев Александр Вадимович

09.12.252

Тел.: +7-926-360-46-45

E-mail: a.nuriev@cyclone-jsc.ru

АО "ЦНИИ "Циклон"

Адрес: 107207, город Москва, Щёлковское ш., д.77

Подпись Нуриева А.В. удостоверяю



Журавлева О.С.