

## **ОТЗЫВ**

**официального оппонента д.т.н., профессора Минкина М.А.  
на диссертационную работу Демакова Александра Витальевича  
«Совершенствование камер для испытаний на электромагнитную  
совместимость», представленную на соискание ученой степени  
кандидата технических наук по специальности 05.12.07 – Антенны,  
СВЧ устройства и их технологии**

### **Вводные положения**

На отзыв официального оппонента были представлены материалы в составе:

- диссертация (переплетенный том, 154 листа);
- автореферат (брошюра, 1 печ. лист).

Диссертационная работа состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы (165 наименований), приложения.

### **Актуальность темы диссертационного исследования**

Насколько можно судить по результатам исследований, поставленная автором цель работы – исследование и разработка путей создания камер с существенно улучшенными параметрами для проведения испытаний изделий и материалов в целях обеспечения электромагнитной совместимости.

Обеспечение радиоэлектронной защиты радиоэлектронных средств (РЭС) различного назначения, в том числе электромагнитной совместимости (ЭМС) является одним из важных тактико-технических требований. Это связано, прежде всего, с постоянно усложняющейся электромагнитной обстановкой (непреднамеренные помехи), а также, в ряде случаев, с необходимостью обеспечения работы РЭС в условиях применения средств радиоэлектронной борьбы.

Кроме упомянутых факторов, на усложнение задач ЭМС, в части как эмиссии, так и рецепции помех, существенно влияют особенности современных схмотехнических и конструктивно-технологических решений РЭС. В частности, наблюдаются дальнейшее повышение степени интеграции элементной базы, рост плотности монтажа печатных плат, снижение уровней питающих напряжений. Использование полупроводниковых компонентов и интегральных схем (ИС) позволяет многократно увеличить производительность, а также снизить массогабаритные показатели РЭС, при этом увеличивая их восприимчивость к электромагнитному полю (ЭМП). В связи с этим к современным РЭС предъявляются все более жесткие требования ЭМС. Соответственно, все существенные средства обеспечения ЭМС должны совершен-

ствоваться. Важную роль в решении указанных задач, несомненно, играют методы и средства испытаний изделий, компонентов и материалов.

Таким образом, актуальность темы диссертационной работы представляется достаточно обоснованной.

### **Структура, содержание и оформление диссертации**

Содержание диссертационной работы, в основном, возражений не вызывает.

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, рассмотрено состояние исследуемой проблемы, сформулированы цель и задачи диссертации, перечислены основные научные результаты диссертации, определены научная новизна и практическая ценность результатов, описана область их применения, представлены основные положения, выносимые на защиту, приведены сведения об апробации работы, публикациях по теме работы, описана структура диссертации и ее объем.

В разделе 1, который носит обзорный характер, обоснована актуальность испытаний в области ЭМС, приведено подробное описание методов и средств испытаний с использованием ТЕМ-камер, коаксиальных камер и реверберационных камер, сформулирована цель и задачи исследования.

В разделе 2 выполнена разработка и исследование усовершенствованной ТЕМ-камеры для испытания интегральных схем. Проведены аналитический и квазистатический расчет параметров камеры. Выполнен электродинамический анализ. Осуществлен выбор конструкции и оптимизированы характеристики переходов. Разработан и экспериментально исследован лабораторный макет ТЕМ-камеры. Представлены результаты применения усовершенствованной ТЕМ-камеры для измерения помехоэмиссии интегральных схем отечественного производства.

Раздел 3 посвящен разработке усовершенствованной коаксиальной камеры для измерения эффективности экранирования композитных материалов. На основе использования аналитического и квазистатического методов, а также электродинамического моделирования и параметрической оптимизации выполнен анализ согласующих переходов. Разработаны твердотельные модели коаксиальных камер, удовлетворяющих действующим нормативным документам. На их основе разработана модель усовершенствованной камеры. Выполнен вычислительный эксперимент по измерению эффективности экранирования композитного экранирующего материала на основе гексаферрита, который показал применимость усовершенствованной конструкции коаксиальной камеры для проведения измерений в диапазоне частот до 10 ГГц.

В разделе 4 рассмотрены вопросы разработки и программной реализации математической модели распределения поля в реверберационной камере. Представлены обобщенные аналитические выражения, позволяющие вычис-

лять напряженность электрического поля в заданной точке наблюдения внутри камеры на основе представления электромагнитного поля в виде суперпозиции возбуждаемых внутри корпуса собственных резонансных типов волн. Выполнены разработка, программная реализация и тестирование математической модели, с помощью которой построены и проанализированы две геометрические модели камер, применимые для разработки и создания полнофункциональной реверберационной камеры для испытаний малогабаритных и крупногабаритных радиоэлектронных средств. Выполнено сравнение частотных зависимостей среднеквадратического отклонения компонент напряженности электрического поля, рассчитанных с помощью разработанной математической модели, и с помощью электродинамического анализа, которое выявило удовлетворительную близость полученных результатов.

В заключении подведены итоги выполненного исследования, приведены рекомендации по использованию полученных результатов, а также обозначены перспективы дальнейшей разработки темы.

В Приложении приведены акты внедрения результатов диссертационной работы, свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ, а также свидетельства и дипломы, отражающие научные достижения автора.

Рукопись диссертации оформлена, в основном, достаточно грамотно. Имеющиеся замечания по структуре работы и отдельные претензии к оформлению приведены ниже в разделе «Недостатки диссертационной работы».

### **Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций**

Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, в достаточной степени обоснованы в рамках диссертационного исследования. Обоснованность обеспечивается внутренней непротиворечивостью и строгостью формулировки и решения поставленных задач, последовательностью и полнотой аргументации, применением адекватных методов и средств математического моделирования.

### **Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций**

Достоверность полученных в диссертационной работе результатов обеспечивается корректным применением математического аппарата.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается отсутствием противоречий между результатами диссертации и общепризнанными научными положениями в данной области исследования, а также сопоставлением результатов расчетов с результатами вычислительных и натурных экспериментов.

Новизна научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, представляется достаточно обоснованной. Более подробно об этих результатах - ниже, в разделе «Наиболее значимые теоретические и практические результаты диссертации».

### **Соответствие диссертации и автореферата установленным требованиям**

Полученные в диссертационной работе Демакова А.В. результаты соответствуют паспорту специальности 05.12.07, а именно п.2. паспорта «Исследование характеристик антенн и СВЧ устройств для их оптимизации и модернизации, что позволяет осваивать новые частотные диапазоны, обеспечивать электромагнитную совместимость, создавать высокоэффективную технологию и т. д», п.3 паспорта «Исследование и разработка новых антенных систем, активных и пассивных устройств СВЧ, в том числе управляющих, фазирующих, экранирующих и других, с существенно улучшенными параметрами» и п.7 паспорта «Исследование и разработка метрологического обеспечения проектирования, производства и эксплуатации антенных систем и СВЧ-устройств».

Диссертация по содержанию и оформлению удовлетворяет действующим требованиям Положения о присуждении ученых степеней.

В диссертации имеются необходимые ссылки на авторов и источники заимствованных материалов. Каких-либо признаков плагиата не обнаружено.

Автореферат соответствует основным положениям диссертации, правильно и достаточно полно передает ее содержание, позволяет ясно представить сформулированные в диссертации задачи исследования, основное содержание и идеи работы, а также выводы и рекомендации и удовлетворяет требованиям Положения о присуждении ученых степеней.

### **Наиболее значимые теоретические и практические результаты диссертации**

К значимым с теоретической точки зрения и обладающим научной новизной результатам диссертации, насколько можно судить по диссертации и известным оппоненту публикациям автора, относятся:

- усовершенствованная методика измерения эффективности экранирования композитных экранирующих материалов на основе включения образца в разрыв коаксиальной линии;

- новые результаты исследования и оптимизации ТЕМ-камеры для оценки уровня помехоэмиссии и помехоустойчивости интегральных схем и коаксиальной камеры для измерения эффективности экранирования композитных экранирующих материалов, обеспечившие существенное расширение полос рабочих частот;

- математическая модель реверберационной камеры, основанная на обобщении известных аналитических выражений и представлении поля в виде суперпозиции собственных волн, обеспечившая предварительную оценку распределения поля в эффективной рабочей зоне, а также новые результаты ее исследования.

К значимым с практической точки зрения результатам относятся:

- конструкции усовершенствованных камер;
- программная реализация модели распределения электрического поля в реверберационной камере.

Таким образом, научная значимость работы связана с совершенствованием методик измерения характеристик устройств и материалов в целях обеспечения ЭМС, а практическая значимость работы определяется возможностями непосредственного применения ее результатов, включая предложенные усовершенствованные конструкции.

Ценность работы дополнительно подтверждается фактом государственной регистрации программ для ЭВМ, а также внедрением результатов работы соискателя при выполнении исследований в интересах АО ИСС и их использованием в учебном процессе ТУСУР.

### **Личный вклад соискателя в разработку научной проблемы**

По результатам рассмотрения диссертации и опубликованных трудов соискателя следует подчеркнуть, что основные результаты, изложенные мною выше в пункте «Наиболее значимые теоретические и практические результаты диссертации», получены автором, в основном, самостоятельно и характеризуют его личный вклад в разработку проблемы.

### **Апробация и публикации**

Материалы диссертации апробированы на международных и российских научно-технических конференциях.

По тематике диссертационных исследований автором (лично и в соавторстве) опубликовано 13 печатных трудов, в том числе 2 статьи в журналах, включенных в Перечень ВАК, 3 текста докладов в трудах конференций, индексируемых в международных базах, и 8 текстов и тезисов докладов в трудах прочих конференций. Кроме того, в число публикаций входят 4 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Общий уровень апробации и опубликования результатов работы соответствует действующим требованиям и является достаточным.

### **Недостатки диссертационной работы**

1. Некоторые «квалификационные» формулировки представляются неполными и недостаточно подробно отражающими фактически полученные

автором результаты. В частности, слишком абстрактно сформулирована цель работы («усовершенствовать устройства...»), некоторые полученные автором новые научные результаты представлены в диссертации, упомянуты в рубрике «теоретическая значимость работы», но не упомянуты в рубрике «научная новизна». Мое видение формулировок научной новизны я изложил выше, в разделе «Наиболее значимые теоретические и практические результаты диссертации».

2. В главе 1 диссертации не приведены регламентированные методики измерения электромагнитной эмиссии от ИС в соответствии с действующими стандартами.

3. Не приведены экспериментальные оценки напряженности электрического поля в изготовленном лабораторном макете ТЕМ-камеры.

4. На рисунке 2.19 приведены частотные зависимости модуля коэффициента отражения электродинамической и твердотельной моделей ТЕМ-камеры, а также изготовленного лабораторного макета. В тексте утверждается, что максимальное отклонение значений  $|S_{11}|$  не превышает 12 дБ, при этом, из рисунка наблюдается существенно большее отклонение. Так, на частоте около 4,15 ГГц отличие между результатами измерений и моделирования достигает 50 дБ.

5. В подразделе 2.4 при изложении результатов измерений следовало указать допустимые уровни электромагнитной эмиссии для ИС согласно действующим нормам.

6. В разделе 3 диссертации отсутствует описание использованных численных методов и программных средств электродинамического моделирования.

7. Замечание (скорее рекомендация) по структуре работы. Результаты исследований структурированы по конкретным приложениям (ТЕМ-камера, коаксиальная камера, реверберационная камера). На мой взгляд, это несколько нарушает целостность изложения. Логичнее было бы использовать более привычное построение работы: теория – модели – методики – результаты – приложения – эксперимент.

8. Имеются отдельные претензии к изложению материала. Так, структурный элемент «Степень разработанности темы исследования» (ГОСТ Р 7.0.11, п.5.3.1) фактически присутствует во Введении, но не выделен. Отсутствуют традиционные структурные элементы Введения («объект исследований» и «предмет исследований»). Имеются явные «оговорки», например, «нижняя граничная частота  $\lambda_{нгр}$ » (с. 100). Встречаются опечатки и пунктуационные ошибки.

Перечисленные недостатки не являются определяющими и не влияют на общую положительную оценку работы.

## Общая оценка диссертационной работы

В целом диссертация Демакова А.В. является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи, имеющей значение для развития соответствующей отрасли знаний, а именно задачи исследования и разработки путей создания камер с существенно улучшенными параметрами для проведения испытаний изделий и материалов в целях обеспечения электромагнитной совместимости.

Тематика исследований диссертационной работы соответствует заявленной специальности 05.12.07 (Антенны, СВЧ-устройства и их технологии).

Оформление диссертации и автореферата удовлетворяет действующим требованиям.

Диссертационная работа в целом удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, включая требования п.п. 9, 11, 13, 14 и 25 Положения о присуждении ученых степеней, а ее автор, Демаков Александр Витальевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Согласен с включением моих персональных данных в аттестационное дело соискателя Демакова А.В. и их дальнейшей обработкой.

### Официальный оппонент

доктор технических наук, профессор

М.А. Минкин

« 22 » 11 2019 г.

Подпись М.А. Минкина удостоверяю.  
Ученый секретарь НТС АО «СИП РС», д.т.н.



М.А. Бузова

Минкин Марк Абрамович, доктор технических наук (05.12.07), профессор.  
Акционерное общество «Самарское инновационное предприятие радиосистем», главный научный сотрудник.  
443022, г. Самара, пр. Кирова, 26, 3 этаж  
Тел.: +7 (846) 203-19-63  
E-mail: info@siprs.ru  
Сайт: <https://siprs.ru>