

ОТЗЫВ **официального оппонента**

доктора технических наук Гизатуллина Зиннура Марселевича
на диссертационную работу Васильченко Дмитрия Владимировича
«МЕТОДИКА АНАЛИЗА ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ НА
РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ МОДУЛИ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОСЕТЕЙ»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальности

2.2.13 Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения

1. Актуальность темы диссертационной работы

Актуальность исследования обусловлена стремительным развитием и широким внедрением электронных устройств в различных сферах жизни, что требует обеспечения их надежной работы в условиях сложной, насыщенной, постоянно меняющейся электромагнитной обстановки (ЭМО). Широкий спектр различных электромагнитных помех (ЭМП) представляют серьезную угрозу для функционирования радиоэлектронных модулей (РЭМ), вызывая сбои, снижение производительности или полный выход устройств из строя. Традиционные методы защиты, такие как экранирование, заземление и фильтрация, зачастую недостаточно эффективны из-за сложности конструкций современных электронных систем и разнообразия источников ЭМП. В этом контексте применение современных технологий искусственного интеллекта, особенно нейронных сетей, открывает новые перспективы для более точного анализа, прогнозирования и ослабления влияния ЭМП на РЭМ.

Разработка методик, основанных на машинном обучении, позволяет автоматизировать процесс диагностики и повысить эффективность стратегий защиты, что особенно важно в условиях возрастающей плотности компоновки электронных устройств и критической роли радиотехнических систем в инфраструктуре. Таким образом, исследование методик анализа влияния электромагнитных с применением нейросетей не только отвечает тенденциям обеспечения электромагнитной совместимости, но и способствует научному прогрессу в области радиотехники, что подчеркивает актуальность темы диссертационной работы.

2. Оценка достоверности полученных результатов и новизны диссертационного исследования

Для решения поставленных задач использовались методы теории графов, искусственного интеллекта, электродинамики, теории электромагнитной совместимости и помехоустойчивости, математической статистики и принципы системного подхода. Полученные результаты являются достоверными, подтверждены грамотной постановкой задачи, точностью данных и экспериментальным подтверждением на тестовых задачах. Результаты апробированы на научных конференциях, а также внедрены на производстве, в научно-исследовательскую работу молодежной лаборатории и учебный процесс ВГТУ.

Научная новизна заключается в создании методологии анализа и оценки воздействия электромагнитных помех на проектируемые электронные устройства с использованием глубоких нейронных сетей. При этом используются модифицированные нейросетевые модели и алгоритмы обработки исходных данных, позволяющие прогнозировать поведения устройств под воздействием ЭМП на различных стадиях жизненного цикла изделия. Разработанные нейронные сети учитывают сложную природу взаимосвязи различных параметров ЭМП, что позволяет анализировать и прогнозировать с высокой вероятностью возможные отклонения в работе РЭМ. Показано, что использование алгоритмов линейной классификации и нейронных сетей значительно улучшает точность диагностики и прогнозирования, что вносит вклад в развитие теории моделирования и анализа электромагнитных помех.

К основным научным результатам, полученным автором в диссертационном исследовании, можно отнести следующее:

- математическая модель оценки влияния внешних электромагнитных помех, отличающаяся применением графов для описания топологии радиоэлектронного модуля с учетом особенностей задач обеспечения электромагнитной совместимости;

- алгоритм обучения нейронной сети, отличающийся способом преобразования в векторное представление исходных данных, получаемых в процессе моделирования и тестирования радиоэлектронных модулей на воздействие внешних электромагнитных помех;

- методика анализа влияния внешних электромагнитных помех на радиоэлектронные модули, интегрированная в сквозной цикл проектирования и отличающаяся использованием графовых нейронных сетей внимания.

Практическая значимость исследования заключается в разработке и внедрении на практике методики анализа влияния ЭМП на РЭМ с использованием нейронных сетей. Такой подход позволяет на ранних стадиях проектирования автоматизировать процесс диагностики устойчивости устройств к ЭМП, что способствует своевременному выявлению и устранению потенциальных уязвимостей. Интеграция нейросетевых моделей в существующий цикл проектирования РЭМ обеспечивает оперативный и точный анализ схемотехнических и конструктивных решений, значительно сокращая время и ресурсы, затрачиваемые на традиционные методы численного моделирования и экспериментальных тестирований. Разработанный соискателем программно-аппаратный комплекс автоматизированной оценки помехоустойчивости интегрируется в существующий сквозной цикл проектирования РЭМ, обеспечивая возможность проведения оперативного анализа конструкционных и/или схемотехнических решений.

3. Оценка содержания диссертации, степени ее завершенности, подтверждение публикаций автора

Структура диссертации соответствует теме и цели исследования. Работа состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка литературы (52 наименования) и двух приложений. Объем работы - 108 страниц, 38 рисунков, 4

таблицы. Имеется список сокращений и условных обозначений.

Во **введении** приведены основные причины обуславливающие актуальность проведения научных исследований в выбранной предметной области, определена цель работы и поставлены задачи которые необходимо решить для ее достижения, сформулированы результаты имеющие научную новизну и практическую значимость, а также данные об их внедрении и апробации.

В **первой** главе диссертационной работы рассмотрена проблема оценки влияния ЭМП на радиоэлектронные средства (РЭС), подчеркивается важность обеспечения требования ЭМС для работы устройств в условиях быстроразвивающихся технологий. Рассматриваются основные виды помех, их источники и механизмы воздействия на РЭС, а также традиционные методы математического моделирования и экспериментальные подходы для их анализа. Описана основная суть подхода с использованием машинного обучения, включая графовые нейронные сети, которые открывают новые возможности для прогнозирования воздействий ЭМП и повышения помехоустойчивости. Сформулированы цель и задачи исследования, направленные на разработку усовершенствованных методик анализа влияния ЭМП с использованием нейронных сетей.

Во **второй** главе представлены возможные подходы к применению графовых методов для анализа воздействия ЭМП на РЭМ. Рассматривается представление структуры РЭМ в виде графов, где компоненты и их соединения представлены вершинами и рёбрами с соответствующими атрибутами. Приводится процесс преобразования топологии печатной платы в графовое представление. Описываются алгоритмы обработки графов и графовые сети внимания, используемые для преобразования графовых структур в векторные представления, пригодные для машинного обучения. Утверждается, что такой подход позволяет эффективно выявлять уязвимые узлы и оптимизировать проектирование РЭМ с учётом влияния электромагнитных помех, тем самым повышая устойчивость и надежность радиоэлектронных систем.

В **третьей** главе диссертационной работы соискателем предложена методика анализа влияния ЭМП на РЭМ с использованием искусственных нейронных сетей. Описывается процесс создания обучающего датасета на основе графовых представлений компонентов и соединений РЭМ, включая сбор и предварительную обработку данных, моделирование различных вариантов конструкций и разметку данных для обучения модели. Приведена разработанная архитектура графовой нейронной сети внимания и алгоритм её обучения, направленный на выявление критических узлов и прогнозирование устойчивости изделия к ЭМП. Представлены результаты моделирования и верификации модели с использованием натуральных данных, демонстрирующие эффективность предложенной методики для повышения устойчивости конструкции РЭМ к электромагнитным воздействиям.

В **четвертой** главе описана экспериментальная проверка разработанной методики анализа влияния ЭМП на РЭМ. В качестве тестового объекта был создан модуль с различными вариантами трассировки и выполнено его моделирование в специализированном ПО. Экспериментальные исследования, проведенные с

учетом требований ГОСТ Р 51317.4.3–2006, подтвердили работоспособность методики, выявив участки конструкции подверженные резонансным эффектам. Результаты демонстрируют эффективность интеграции методики в процесс разработки РЭМ, ускоряя проектирование и повышая помехоустойчивость изделий.

В заключении сформулированы основные результаты, полученные автором в процессе исследования.

Судя по содержанию работы, задачи, поставленные автором исследования, полностью решены, а цель работы достигнута. Диссертация обладает научной новизной, теоретической и практической значимостью, является **завершенным научным исследованием.**

Результаты диссертационного исследования, выводы и пункты научной новизны изложены 15 научных работ, из них 9 статей в ведущих рецензируемых научных журналах из Перечня ВАК, 6 тезисов в сборниках трудов международных и всероссийских научно–технических конференций (две включены в базу данных Scopus).

4. Соответствие содержания автореферата диссертации

Автореферат представлен в научном стиле, с четким и логичным изложением основных положений, результатов и выводов диссертации. Автореферат содержит полную и точную информацию о содержании работы, предоставляя читателям все необходимые данные для оценки научной значимости и достоверности исследования.

5. Замечания по диссертационной работе

При изучении материалов диссертации отмечены следующие недостатки:

1. В явном виде не представлены ограничения методики в отношении типов и классов радиоэлектронных модулей, к которым она может быть применена (аналоговые, цифровые, ВЧ/НЧ и т.д.).

2. В главе 1 не представлен сравнительный анализ иных, отличных от графового, методов представления радиоэлектронных модулей, используемых для решения задач обеспечения ЭМС.

3. Из главы 2 не ясно, каким образом в структуре графа, описывающего параметры радиоэлектронного модуля, будут отображаться экранирующие структуры или теплоотводящие элементы (радиаторы).

4. По результатам проведенных экспериментальных исследований хотелось бы видеть конкретные классы устройств, где применение предложенных алгоритмов наиболее целесообразно, а также рекомендации по дальнейшему развитию работы.

Отмеченные недостатки и замечания в целом не ставят под сомнение научную новизну, теоретическую и практическую значимость, а также достоверность научных результатов.

6. Заключение

Диссертация по своей актуальности, научной новизне, объему выполненных исследований и практической значимости полученных результатов является

законченной научно-квалификационной работой. По теме диссертационного исследования опубликовано 15 научных работ, из них 9 статей в ведущих рецензируемых научных журналах из Перечня ВАК, 6 тезисов в сборниках трудов международных и всероссийских научно-технических конференций (две включены в базу данных Scopus). Имеется 5 зарегистрированных программ для ЭВМ и один патент на полезную модель.

Диссертационное исследование соответствует пунктам 7, 11 и 16 области исследования паспорта специальности 2.2.13 - Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

Считаю, что представленная диссертация полностью отвечает критериям Положения о присуждении ученых степеней предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор Васильченко Дмитрий Владимирович, достоин присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

Официальный оппонент:

Гизатуллин Зиннур Марселевич, доктор технических наук, профессор, диссертация защищена по специальности 05.13.05 - Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления

профессор кафедры «Системы автоматизированного проектирования»,
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н.Туполева-КАИ»
420111, г. Казань, ул. К. Маркса, 10
<https://kai.ru/>, 8-(843)-231-01-09
kai@kai.ru

Я, Гизатуллин Зиннур Марселевич, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

« 18 » _____ 11 _____ 2024 г

_____ 3.М. Гизатуллин

Подпись _____
заверяю. Начальник управления
делопроизводства и контрол

