

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники»

*На правах рукописи*

УДК 62-503.51:62-503.54

НИТИЕВСКИЙ  
Петр Александрович

**МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ  
УСТОЙЧИВЫХ К ВОЗДЕЙСТВИЮ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ**

**АВТОРЕФЕРАТ**

магистерской диссертации на соискание степени  
магистра техники и технологии

по специальности 1-39 81 01 «Компьютерные технологии проектирования  
электронных систем»

Научный руководитель  
канд. техн. наук, доцент  
Алексеев В.Ф.

Минск 2015

Работа выполнена на кафедре экономической информатики учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Научный руководитель:

**Алексеев Виктор Федорович,**  
кандидат технических наук, доцент кафедры проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Рецензент:

**Полубок Владислав Анатольевич,**  
кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой МПСС института информационных технологий учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Защита диссертации состоится «24» января 2015 г. года в 9<sup>30</sup> часов на заседании Государственной комиссии по защите магистерских диссертаций в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, г.Минск, ул. П.Бровки, 6, 4 уч. корп., ауд. 804, тел.: 293-89-92, e-mail: [kafei@bsuir.by](mailto:kafei@bsuir.by).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

## **ВВЕДЕНИЕ**

Надежность и достоверность работы радиоэлектронных средств (РЭС) зависит от их помехозащищённости по отношению к внешним и внутренним, случайным и регулярным помехам. От правильного решения задачи обеспечения помехоустойчивости элементов и узлов РЭС зависят как сроки разработки, изготовления и наладки РЭС, так и нормальное ее функционирование в процессе эксплуатации.

Электромагнитные помехи могут стать «главным источником головной боли разработчиков и операторов электронных средств». При отсутствии средств подавления помехи влияют на стабильность системы управления, приводят к возникновению ошибок передачи сигналов, могут даже приводить к включению и отключению приборов. Частоты электромагнитных помех варьируются от самых низких радиочастот и постоянных составляющих и далее по всему радиодиапазону. Помехи могут, как распространяться по кабелю, так и излучаться им.

Проблема повышения безопасности полетов всегда была и будет одной из важнейших задач, стоящих перед разработчиками и эксплуататорами гражданской и военной авиации. Анализ причин авиационных аварий и инцидентов свидетельствует об уменьшении доли событий, что приходится на проблемы, непосредственно связанные с состоянием авиационной техники, а также с бортовым и наземным оборудованием. Но даже при самом современном радиоэлектронном оборудовании может возникнуть ситуация, когда воздушное судно, экипаж которого осуществляет пилотирования строго по показаниям приборов, попадает в аварию. Причиной такого результата является влияние радиотехнической аппаратуры, которая не участвует в обеспечении полета: авиационного радиоэлектронного оборудования, радиовещательных и телевизионных станций, мобильными телефонами и работающими компьютерами, и влияние природных факторов: грозовые разряды, молнии. Эти факторы являются дестабилизирующими пилотажно-навигационной аппаратуры гражданских и военных воздушных судов.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Актуальность темы исследования**

Все более нарастающая насыщенность свободного пространства радиоволнами различного диапазона, с различными видами модуляции и манипуляции приводят к постоянному росту вероятности опасного воздействия такого рода непреднамеренных электромагнитных помех на радиоэлектронное оборудование воздушного судна. Именно наличие непреднамеренных электромагнитных волн приводит к тому, что приборы, которые исправно работают, начинают давать ложные показания, поскольку они воспринимают препятствия как полезные сигналы, на осно-

вании которых они примут неверные решения по пилотированию воздушного судна.

Экранировка кабелей защищает сигналы в жилах от внешних источников электромагнитных помех, а также уменьшает излучение самого кабеля, которое может оказывать влияние на оборудование и проводку рядом с кабелем. Таким образом правильный выбор экранированных кабелей является одним из самых важных шагов при создании надежных и точных систем.

### **Степень разработанности проблемы**

Исследование влияния электромагнитных помех на электронные устройства осуществлялось на основе построения классификаций электромагнитных помех в зависимости от источника помех и среды распространения в работах М. Павлова, А. Белова, П. Жданова, В. Кравченко и других авторов. Изучение методов экранирования кабелей представлено в работах Л. Рикетс, Я. Львович, Дж.Э Бриджес.

Среди большого числа исследований по этой теме необходимо отметить работы В.Пестрякова, А.Князев и В.Бородулин.

Существует множество современной литературы описывающей электромагнитную обстановку, причины возникновения помех, пути проникновения и излучения помех в техническом средстве. Когда методов защиты с этими помехами значительно меньше.

### **Цель и задачи исследования**

Целью диссертационной работы является исследование и разработка методов проектирования электронных средств устойчивых к воздействию электромагнитных помех.

Для достижения поставленной цели необходимо решить **следующие задачи:**

– провести обзор существующих методов проектирования электронных средств, устойчивых к электромагнитным помехам (ЭМП).

– провести анализ воздействия непреднамеренных помех электромагнитных волн на бортовую электронику.

– рассчитать воздействия мощных электромагнитных помех на электротехнический комплекс самолета.

**Объектом** исследования является воздействие мощных электромагнитных помех на бортовую систему.

**Предметом** исследования является плетеный экран для экранирования кабеля летательного аппарата.

**Область исследования.** Содержание диссертационной работы соответствует образовательному стандарту высшего образования второй ступени (магистратуры) специальности 1-39 81 01 «Компьютерные технологии проектирования электронных систем».

### **Теоретическая и методологическая основа исследования**

В основу диссертации легли результаты известных исследований российских и зарубежных инженеров-конструкторов и инженеров-радиоэлектронщиков в области методов проектирования электронных

средств устойчивых к воздействию электромагнитных помех.

Для получения теоретических результатов исследования применялись классификации: электромагнитных помех, способов защиты электронных средств от электромагнитных помех, а также методов экранирования кабельных сетей.

Имитационные расчеты по теоретической модели воздействия мощных электромагнитных помех осуществлены в пакете MathLab. Обработка статистических данных проводилась с использованием MSExcel.

**Информационная база** исследования для регрессионного и классификационного анализа сформирована на основе статистических данных.

**Научная новизна** диссертационной работы заключается в методе выбора экранированного кабеля и способа его крепления.

#### **Основные положения, выносимые на защиту**

1. Классификация электромагнитных помех и теоретических подходов к защите электронных средств от воздействия электромагнитных помех, позволившая выявить наиболее действующие методы защиты.

2. Анализ влияния непреднамеренных электромагнитных помех на бортовую электронику, что позволяет найти пути решения воздействий непреднамеренных электромагнитных помех на пилотажно-навигационное оборудование.

3. Экспериментальные закономерности, полученные в среде MathLab, позволившие наблюдать решение модели и проводить анализ защищенности летательного аппарата при воздействии на него мощных электромагнитных помех.

4. Методика выбора экранированного кабеля и материала экранирования, позволяет улучшить защиту от электромагнитных помех, увеличить надежность и долговечность кабельной сети.

**Теоретическая значимость** диссертации заключается в том, что в ней предложен подход к анализу воздействия электромагнитных помех на электронные средства. Представлены способы защиты от электромагнитных помех, и выделены более современные и эффективные методы защиты. **Практическая значимость** диссертации состоит в том, что на основе предложенного расчета воздействия мощных электромагнитных помех на бортовую электронику летательного аппарата возможно проведение анализа о недостатках защищенных и весьма уязвимых мест в бортовой электронике.

#### **Апробация и внедрение результатов исследования**

Результаты исследования были неоднократно представлены на: международном семинаре аспирантов, магистрантов и студентов «Современные средства связи» в г.п. Нарочь; научные стремления - 2013 : материалы Международной научно-практической конференции молодых ученых г. Минск; новые информационные технологии в научных исследованиях «НИТ-2013» г. Рязань; «РТ - 2013»: материалы 9-ой международной молодежной научно-технической конференции г. Севастополь.

Отдельные положения диссертации, в частности подход к классификации электромагнитных помех и методов проектирования электронных

средств устойчивых к воздействию электромагнитных помех используются при преподавании курса методы проектирования радиоэлектронных устройств.

### **Публикации**

По теме диссертации опубликовано 5 печатных работ, из них 2 работы в сборниках материалов конференций БГУИР, 3 работа в сборнике материалов международной конференции.

**Структура и объем работы.** Структура диссертационной работы обусловлена целью, задачами и логикой исследования. Работа состоит из введения, трёх глав и заключения, библиографического списка и приложений. Общий объем диссертации – 64 страницы. Работа содержит 4 таблицы, 28 рисунков. Библиографический список включает 53 наименования.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во **введении** рассмотрено современное состояние проблемы защиты электронных средств от воздействия от электромагнитных помех, определены основные направления исследований, а также дается обоснование актуальности темы диссертационной работы.

В **общей характеристике работы** сформулированы ее цель и задачи, показана связь с научными программами и проектами, даны сведения об объекте исследования и обоснован его выбор, представлены положения, выносимые на защиту, приведены сведения о личном вкладе соискателя, апробации результатов диссертации и их опубликованность, а также, структура и объем диссертации.

В **первой главе** рассматриваются причины возникновения помех, обзор электромагнитных помех и их классификация. Методы проектирования электронных средств устойчивых к воздействию электромагнитным помехам.

Во **второй главе** приведен анализ современного состояния и тенденции развития рассматриваются современные аспекты защиты бортового оборудования летательных аппаратов от электромагнитных помех. Описывается краткая характеристика пилотажно-навигационного оборудования. А также пути решения проблемы воздействия непреднамеренных помех на пилотажно-навигационное оборудование.

В **третьей главе** представлены результаты расчетов воздействия мощных электромагнитных помех на электротехнический комплекс самолета. Схема воздействия этих помех. А также Принцип выбора плетеного экрана для экранирования кабеля

В **приложениях** приведены графические материалы.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Спектр электромагнитных возмущений в настоящее время значительно расширился, что связано, во-первых, с появлением ЛА с критическими: электро-дистанционными системами управления ЭДСУ, заменившими традиционные механические тяги и тросы; системами экранной индикации, во-вторых, появлением персональных электронных устройств и технологии беспроводных сетей. Для оценки влияния воздействия электро-магнитных полей, особенно высокой интенсивности, на электронные и электрические компоненты бортового оборудования требуются значительные вычислительные ресурсы и аналитические методы, которые в настоящее время находятся на стадии разработки. Лабораторные и наземные полевые испытания не позволяют установить все возможные пути проникновения излучения внутрь ЛА, а получение передаточной функции готового ЛА не оказывает никакой помощи при его проектировании.

Расчет токов по экрану и синфазных напряжений на внутренних проводниках кабеля с различными экранами показывает, что электрическое поле молнии и магнитное тока молнии, протекающего по фюзеляжу самолета, наводят существенные синфазные напряжения на внутренних проводниках экранированного кабеля, расположенного в композитном крыле самолета. Приведенные расчеты дают возможность выбирать параметры экранов кабелей, исходя из амплитуды наведенного синфазного напряжения на внутренних проводниках кабеля и требований к массогабаритным показателям экранов, а также показывают необходимость применения дополнительных мер защиты элементов и устройств ЭТК самолета от воздействия электрического и магнитного полей молнии на экранированные кабели, расположенные в композитном крыле самолета.

С расширением использования в качестве элементов конструкции ЛА композиционных материалов, имеющих низкие, а иногда и неудовлетворительные экранирующие свойства необходимость защиты проводных сетей элементов функциональных систем экранированием становится первоочередной задачей.

1. Проанализировав полученные результаты можно сделать вывод, что экранирование электрической проводки обеспечивает решение проблемы межсистемной ЭМС. Основной задачей экранирования электрических полей является снижение емкостной связи между источником наводки и защищаемым устройством. Следовательно, эффективность экранирования определяется в основном отношением емкостной связи между источником наводки и защищаемым элементом до и после установки заземленного экрана. Поэтому любые действия, приводящие к снижению емкостной связи, увеличивают эффективность экранирования.

## Список опубликованных работ

[1-А] Алексеев, В.Ф. Подходы к повышению эффективности проектирования электронных модулей на печатных платах для обеспечения ЭМС / В.Ф. Алексеев, П.А. Нитиевский, Г.А. Пискун // Научные стремления - 2013 : материалы Междунар. науч.-практич. конф. молодых ученых, Минск, Респ. Беларусь, 3-6 декабря 2013 г. / Совет молодых ученых Национальной академии наук Беларуси. - Минск: «ЭНЦИКЛОПЕДИКС», 2013. - С.267-270.

[2-А] Варфоломеев, В.В. Математическое моделирование электростатического разряда, протекающего по бесконтактному типу / В.В. Варфоломеев, Г.А. Пискун, П.А. Нитиевский, В.Ф. Алексеев // Новые информационные технологии в научных исследованиях «НИТ-2013» : материалы XVIII всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов, Рязань, 13-15 ноября 2013 г. - Рязань, ФГБОУ ВПО (РГРТУ), 2013. - С.80-81.

[3-А] Нитиевский, П.А. Выбор тестовых полупроводниковых структур для испытаний на устойчивость к электромагнитным помехам / П.А. Нитиевский, В.В. Варфоломеев, Г.А. Пискун, В.Ф. Алексеев // Новые информационные технологии в научных исследованиях «НИТ-2013» : материалы XVIII всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов, Рязань, 13-15 ноября 2013 г. - Рязань, ФГБОУ ВПО (РГРТУ), 2013. - С.112-114.

[4-А] Нитиевский, П.А. Контроллер блока управления источника питания / П.А. Нитиевский, В.Ф. Алексеев // Сучасні проблеми радіотехніки та телекомунікацій «РТ – 2013» : матеріали 9-ої міжнар. Молодіжної наук.-техн. конф., Севастополь, 22-26 квітня 2013 р. / М-во освіти і науки України, Севастополь: СевНТУ, 2013. - 460 арк. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2013. - С.269.

[5-А] Нитиевский, П.А. Оценка дальности действия систем радиовещания УКВ и FM диапазонов / П.А. Нитиевский, В.Ф. Алексеев // Сучасні проблеми радіотехніки та телекомунікацій «РТ – 2013» : матеріали 9-ої міжнар. Молодіжної наук.-техн. конф., Севастополь, 22-26 квітня 2013 р. / М-во освіти і науки України, Севастополь: СевНТУ, 2013. - 460 арк. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2013. - С.289.