



**Федеральное государственное унитарное
предприятие «Российский Федеральный
Ядерный Центр – Всероссийский
научно-исследовательский институт
технической физики
имени академика Е.И. Забабахина»
(ФГУП «РФЯЦ – ВНИИТФ
им. академ. Е.И. Забабахина»)**

ул. Васильева, д. 13, г. Снежинск,

Челябинская область, 456770

факс: (351-46) 5-22-33, 5-55-66

тел: (351-46) 5-51-20, 5-43-67

E-mail: vniitf@vniitf.ru

ОКПО 07623974, ОГРН 1027401350932

ИНН 7423000572, КПП 785150001

03.06.2022 № 194-46-08/15456

На № _____ от _____

О направлении отзыва официального
оппонента

Направляю отзыв официального оппонента главного специалиста ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина», доктора технических наук, Крохалева Д.И. на диссертацию Жукова П.А. на тему «Исследование средств защиты электротехнических комплексов летательных аппаратов от электромагнитных воздействий», представленную к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03.

Приложение: Отзыв..., экз. № 1, 2, на 8 листах каждый.

Первый заместитель директора

С.И. Вампилов

Исп. Крохалев Дмитрий Иванович
Тел. +7(916)649-79-37

Отдел документационного
обеспечения МАИ

«03» 06 2022

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук
Крохалева Дмитрия Ивановича на диссертационную работу

Жукова Петра Александровича

«Исследование средств защиты электротехнических комплексов летательных аппаратов от электромагнитных воздействий», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 «Электротехнические комплексы и системы»

Актуальность темы

Диссертация Жукова П.А. посвящена решению задачи повышения эффективности методов и технических средств защиты элементов и устройств бортовых комплексов летательных и космических аппаратов (ЛА, КА) от электромагнитных воздействий (ЭМВ).

Следует отметить, что одним из основных направлений развития высокотехнологичных технических средств, к которым относится бортовая аппаратура летательных и космических аппаратов, является уменьшение размеров и снижение энергопотребления электронных элементов и состоящих из данных элементов устройств. За счет этого достигается увеличение быстродействия, расширение функционала, повышение интегрированности и эргономичности аппаратуры. Обратной стороной этого процесса является возрастание чувствительности электронных устройств и систем ЛА и КА к внешним электромагнитным помехам.

От исправности бортовой электроники зависит работоспособность летательного аппарата в целом. Поэтому повышение чувствительности аппаратуры к электромагнитным воздействиям влечет необходимость более внимательного отношения к вопросам повышения помехоустойчивости и помехозащищенности. Необходимость бесперебойной и длительной работы бортовой аппаратуры делает вопросы обеспечения ее повышенной помехоустойчивости и надежности особенно актуальными. В особенности это относится к аппаратуре космических аппаратов, работающей в экстремальных температурных условиях и при повышенной радиации, что

Отдел документационного
обеспечения

«03» 06 2022г 1

негативно влияет на ее эксплуатационные характеристики. Основные усилия автора направлены на разработку методов и средств повышения помехозащищенности бортовой аппаратуры именно в таких условиях, что несомненно свидетельствует об **актуальности** проводимых автором исследований по теме диссертации.

По отношению к внешним ЭМВ наиболее восприимчивым элементом ЛА и КА является бортовая кабельная сеть (БКС), обеспечивающая взаимодействие всех систем летательного аппарата. Результаты исследования существующих способов электромагнитного экранирования и изучение путей проникновения и распространения электромагнитных воздействий в виде — высокочастотных электромагнитных полей в конструкции ЛА позволяют оценить эффективность применяемых технических средств защиты и разработать рекомендации по повышению помехоустойчивости и помехозащищенности. Поэтому выбранная автором тема диссертационного исследования имеет важное значение для электромагнитной совместимости электротехнических комплексов летательных аппаратов.

Содержание диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, содержащего 114 наименований.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, представлены объект и предмет научных исследований, сформулированы цель и задачи исследования, определена научная новизна и практическая значимость полученных автором результатов, приведены основные положения, выносимые на защиту и сведения об апробации результатов исследований.

В первой главе диссертации проведен анализ электромагнитных помех, воздействующих на электротехнические комплексы летательных аппаратов, рассмотрены принципы проникновения электромагнитных помех

в цепи электротехнических комплексов, построена топологическая модель ЛА как объекта электромагнитного воздействия и разработана методика оценки уровней электромагнитных помех, создаваемых внешними источниками и воздействующих на конкретный элемент или устройство.

Во второй главе представлены результаты исследований чувствительных к электромагнитным воздействиям элементов электротехнического комплекса летательного аппарата и причин появления уязвимостей. Рассмотрены основные характеристики экранов кабелей, представлены результаты экспериментальных исследований изменения важных для электромагнитного экранирования характеристик экранов кабелей при воздействии внешних эксплуатационных факторов. Исследовано влияние неоднородностей экрана кабеля на эффективность электромагнитного экранирования.

Третья глава посвящена исследованию радиопоглощающих материалов (РПМ), применяемых в экстремальных условиях. Представлены результаты экспериментальных исследований коэффициентов отражения и прохождения РПМ, пригодного к использованию на летательных и космических аппаратах в условиях вибрации и резких изменений температуры.

В четвертой главе рассматриваются способы применения радиопоглощающих материалов для решения проблем электромагнитной совместимости и повышения электромагнитной защиты аппаратуры летательного аппарата. Показана возможность эффективного применения РПМ для ослабления переотраженных электромагнитных излучений внутри летательного аппарата, а также для подавления излучаемых электромагнитных помех, создаваемых бортовыми устройствами, и высокочастотных кондуктивных помех в БКС.

В заключении приведены основные результаты и выводы по диссертационной работе.

Оценка новизны результатов, полученных в диссертации, и научных положений, выносимых на защиту

Научная новизна диссертационной работы заключается в определении наиболее уязвимых для электромагнитных воздействий элементов ЛА и разработке способов повышения помехозащищенности аппаратуры и систем, применимых в экстремальных эксплуатационных условиях.

В качестве новых научных результатов можно определить следующие:

1. На основе существующих топологических схем для наземных объектов построена топологическая модель проникновения и распространения электромагнитных помех для летательных и космических аппаратов, учитывающая особенности конструкции данных объектов.

2. Предложена основанная на разработанной топологической модели методика определения путей проникновения, распространения и расчета электромагнитных помех в электрических цепях и конструкции ЛА, позволяющая оценить уровень наведенной помехи в выбранном критическом элементе ЛА.

3. Проведены исследования и получены новые экспериментальные данные о зависимости эффективности экранирования наведенных на кабельные линии помех от неоднородностей экранов кабелей и переходного сопротивления между экранами кабелей и электрическими соединителями.

4. Для радиопоглощающего материала, разработанного для применения в условиях космоса, впервые экспериментально определены частотные характеристики коэффициента отражения при экстремальных температурах и вибрации.

5. Предложены новые способы применения радиопоглощающих материалов для ослабления резонансных эффектов в корпусах устройств и конструкционных отсеках и уменьшения помехоэмиссии аппаратуры, а также для фильтрации наведенных высокочастотных кондуктивных помех в БКС летательных и космических аппаратов.

Обоснованность и достоверность выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Достоверность результатов обеспечивается обоснованной формулировкой принимаемых допущений, корректным использованием методов теоретической электротехники, применением аттестованных средств испытаний и измерений и выполнением экспериментальных исследований в соответствии с общепринятыми методами проведения измерений физических параметров. Основные научные результаты диссертации обсуждались на различных научно-технических конференциях.

Практическая значимость

Наиболее существенными для практического применения из результатов работы являются следующие:

1. Предложенные топологическая модель распространения электромагнитных помех и методика оценки их уровней позволяют выявлять слабые места электромагнитной защиты БКС и систем летательных и космических аппаратов и формировать рекомендации по ее улучшению на ранних этапах разработки образца.

2. На основе результатов исследований коэффициента отражения радиопоглощающего материала при экстремальных температурах и вибрации доказана возможность применения РПМ на космических аппаратах в качестве дополнения к существующим способам электромагнитной защиты.

3. Предложенные способы применения радиопоглощающих материалов для ослабления резонансных эффектов в корпусах устройств и конструкционных отсеках и уменьшения помехоэмиссии аппаратуры, а также для фильтрации наведенных высокочастотных кондуктивных помех в кабельных линиях могут применяться при разработке летательных и космических аппаратов, что позволит значительно повысить помехозащищенность разрабатываемого образца без заметного снижения его эксплуатационных характеристик.

В диссертации имеются следующие недостатки:

1. При оценке влияния величины переходного сопротивления на уровень наводимого напряжения помехи в нагрузке экранированного кабеля было исследовано девять образцов кабеля. Однако на рис. 2.4, иллюстрирующем результаты исследований, имеется только три графика зависимостей наведенных напряжений от величины переходного сопротивления. Пояснений, как были построены эти зависимости по экспериментальным данным, в тексте диссертации не приведено.
2. В качестве дополнения к существующим методам экранирования аппаратуры и систем летательных аппаратов рассмотрено применение радиопоглощающих материалов. В то же время, анализ или исследование возможностей и ограничений других способов повышения помехозащищенности в тексте диссертации отсутствует. Не приведена также достаточно подробная классификация существующих РПМ. Обоснование выбора исследуемого в работе типа радиопоглощающего материала, на мой взгляд, не является исчерпывающим.
3. Глава 3 посвящена исследованию свойств РПМ в экстремальных условиях (имеются в виду, прежде всего, условия космоса). Однако описание всех факторов, воздействующих на объект в условиях космического пространства, отсутствует. В процессе экспериментальных исследований не были воссозданы все условия космического пространства (что само по себе, вероятно, и не было необходимо), однако выбор исследуемых факторов (температура и вибрация), для которых проводились исследования, не обоснован.
4. С целью обоснования выносимых на защиту способов применения РПМ для увеличения эффективности экранирования и фильтрации кондуктивных помех автором проведен ряд экспериментов. И хотя эти положения непосредственно следуют из логики проведения исследований и

приведенных в диссертации результатов, следовало бы привести полные описания данных способов.

5. Имеется ряд замечаний по изложению материала и оформлению диссертации. Так, на мой взгляд, каждая глава должна заканчиваться выводами, а описание каждого из отдельных исследований предваряться формулировкой задачи исследования, даже если эта задача сформулирована во введении. Это позволило бы получить тексту большую связность и облегчить чтение. Нумерация страниц в Оглавлении не везде соответствует положению элементов текста, имеется ссылка на отсутствующее в тексте Приложение.

Перечисленные недостатки и замечания не снижают научной и практической значимости работы и не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы.

Заключение

Диссертация Жукова П.А. является законченным научным исследованием, в котором решена задача, имеющая важное научно-техническое значение – повышение эффективности методов и технических средств защиты элементов и устройств бортовых комплексов летательных и космических аппаратов от внешних электромагнитных воздействий. Новые научные результаты, полученные диссертантом, имеют практическую направленность и могут применяться в процессе разработки ЛА, а также при решении вопросов электромагнитной совместимости других объектов. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

По теме диссертации автором опубликовано 20 работ, в том числе 3 статьи в журналах из перечня ВАК РФ, 4 статьи в электронных изданиях Scopus, и 13 тезисов докладов в материалах международных и всероссийских научно-технических конференций. В материалах совместных публикаций в журналах из Перечня ВАК РФ личный вклад автора является определяющим.

Считаю, что диссертационная работа Жукова П.А. «Исследование средств защиты электротехнических комплексов летательных аппаратов от электромагнитных воздействий» соответствует требованиям п.п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г. (ред. от 30.07.2014 г.), предъявляемым к кандидатским диссертациям с точки зрения актуальности, новизны и практической значимости полученных результатов, а ее автор, Жуков Петр Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 «Электротехнические комплексы и системы».

Официальный оппонент,
главный специалист ФГУП «РФЯЦ – ВНИИТФ»
доктор технических наук

«31» мая 2022 г.

Крохалев Д.И.

Адрес организации: 456770, г. Снежинск Челябинской области,
ул. Васильева, д. 13.

Наименование организации: Федеральное государственное унитарное
предприятие «Российский Федеральный Ядерный Центр – Всероссийский
научно-исследовательский институт технической физики имени академика
Е.И. Забабахина» (ФГУП «РФЯЦ – ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина»)

Телефон: 8 (351) 465-51-20, 8 (351) 465-43-67

Адрес электронной почты: vniitf@vniitf.ru

Подпись Крохалева Д.И. удостоверяю.

Ученый секретарь НТС института
кандидат физико-математических наук



В.Н. Ногин

Сотзвтом озиакомпси
Жуков П.А.

Жуков 03.06.22