



Государственная корпорация  
по космической деятельности «Роскосмос»



Акционерное общество  
«Центральный научно-исследовательский институт  
машиностроения» (АО «ЦНИИмаш»)

ул. Пионерская, д. 4, корп. 22  
г.о. Королёв,  
Московская область, 141070

Тел.: +7 (495) 513 5951  
Факс: +7 (495) 512 2100

e-mail: corp@tsniimash.ru  
http://www.tsniimash.ru

ОГРН 1195081054310  
ИНН / КПП 5018200994 / 501801001

20.05.2022 исх. № ВХ-9298

исх. № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Московский авиационный институт  
(национальный исследовательский  
университет)

И. о. проректора по научной работе  
доктору технических наук, профессору  
Равиковичу Ю.А.

Уважаемый Юрий Александрович!

В ответ на исх. от 16.03.2022 № 309-20-9 высылаю Вам отзыв ведущей организации АО «ЦНИИмаш» на диссертацию Жукова Петра Александровича на тему «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», а также вышеуказанную диссертацию.

- Приложения: 1. Отзыв ведущей организации на 7 л. в 2 экз.  
2. Диссертация, 1 книга.

Генеральный конструктор по автоматическим  
космическим системам и комплексам –  
заместитель генерального директора

В.В. Хартов

Исп.: Маленков Антон Александрович  
Тел.: +7(495)513-4739  
+7(916)812-3213

Отдел документационного  
обеспечения МАИ

«01» 06 2022

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный конструктор по автоматическим  
космическим системам и комплексам –  
заместитель генерального директора  
акционерного общества «Центральный научно-  
исследовательский институт машиностроения»  
доктор технических наук, профессор



В.В. Хартов

« 2022 г.

## ОТЗЫВ

ведущей организации 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 диссертации

Проблемы электромагнитной совместимости и защиты от вредных электромагнитных излучений имеют большую важность в конструировании и эксплуатации электротехнических комплексов летательных аппаратов (ЛА). От исправности бортовой электроники зависит работоспособность аппарата в целом, а от степени обеспечения электромагнитной совместимости – качество решения целевых задач. Развитие технологий, направленное на снижение энергопотребления и уменьшение габаритов электронных элементов приводит к увеличению чувствительности электроники ЛА и к влиянию внешних электромагнитных воздействий. В свою очередь, возрастание чувствительности бортовой электронной аппаратуры к электромагнитным воздействиям требует более внимательного

Отдел документационного  
обеспечения МАИ

«01» 06 2022 г. 1

отношения к вопросам повышения помехоустойчивости и помехозащищенности.

Бортовая кабельная сеть обеспечивает связь всех систем ЛА и ее защищенность имеет большую значимость. Результаты исследования существующих способов электромагнитного экранирования и изучение путей проникновения и распространения электромагнитных воздействий в виде наведенных высокочастотных электромагнитных полей в кабельные сети ЛА позволяет оценить эффективность применяемых технических средств защиты и разработать рекомендации по повышению помехоустойчивости и помехозащищенности бортовой аппаратуры.

Вышесказанное обуславливает актуальность темы диссертационного исследования Жукова П.А.

### **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 диссертационной работы.

**В первой главе** диссертации проведен анализ электромагнитных помех, воздействующих на электротехнические комплексы различных летательных аппаратов, рассмотрены принципы проникновения электромагнитных помех в цепи электротехнических комплексов, построена топологическая модель и разработана методика определения уровней электромагнитных помех, создаваемых внешними источниками.

В разделе 1.1 представлена классификация электромагнитных помех, способных помешать нормальному функционированию электротехнического комплекса ЛА. В разделе 1.2 рассмотрены пути проникновения и

распространения электромагнитных помех в конструкции ЛА. В разделе 1.3 рассмотрена схема путей распространения помех, показаны отличия путей распространения электромагнитных помех в конструкции ЛА от путей распространения в конструкции наземных объектов. Представлена топологическая модель проникновения и распространения помех в конструкции летательного аппарата. На основе модели предложена методика определения уровней электромагнитных помех в конкретных точках конструкции и определения возможных уязвимостей для электромагнитного излучения.

**Во второй главе** представлены результаты исследования уязвимых для электромагнитных помех точек в конструкции электротехнического комплекса ЛА и причин появления уязвимостей. В разделе 2.1 рассмотрены основные характеристики экранов кабелей. В разделе 2.2 представлены результаты экспериментального исследования изменения важных для электромагнитного экранирования характеристик экранов кабелей при воздействии внешних климатических и температурных эксплуатационных факторов. Показана важность учета изменения эффективности экранирования на этапе разработки конструкции ЛА. В разделе 2.3 исследовано влияние неоднородностей экрана кабеля на эффективность электромагнитного экранирования.

**В третьей главе** представлены результаты исследования радиопоглощающих материалов, применяемых в экстремальных условиях. В разделе 3.1 представлены основные разновидности радиопоглощающих материалов и описаны способы их использования. В разделах 3.2 и 3.3 представлены результаты экспериментального исследования электромагнитных характеристик радиопоглощающего материала, пригодного к использованию на ЛА в экстремальных температурных условиях и при вибрации.

**В четвертой главе** рассмотрены способы применения радиопоглощающих материалов для решения проблем электромагнитной

совместимости и повышения электромагнитной защиты электротехнического комплекса летательного аппарата. В разделе 4.1 показана возможность эффективного применения радиопоглощающего материала для ослабления генерируемых и переотраженных электромагнитных излучений внутри конструкции летательного аппарата. В разделе 4.2 представлена возможность применения радиопоглощающего материала для подавления излучаемых электромагнитных помех, создаваемых бортовыми устройствами. В разделе 4.3 предложено применение радиопоглощающего материала для подавления высокочастотных кондуктивных помех в цепях электротехнического комплекса.

**В заключении** приведены основные результаты и выводы по диссертационной работе.

#### **Научная новизна полученных результатов**

Научная новизна диссертационной работы Жукова П.А. заключается в следующем.

1. Предложена топологическая модель проникновения и распространения электромагнитных воздействий в виде излучаемых и кондуктивных помех в электрических цепях и конструкции ЛА.

2. Предложена методика определения путей проникновения, распространения и расчета характеристик электромагнитных помех в электрических цепях и конструкции ЛА.

3. Получены зависимости эффективности экранирования от неоднородностей экранов кабелей и переходного сопротивления между экранами кабелей и кожухами электрических соединителей.

4. Определены частотные характеристики коэффициента отражения радиопоглощающего материала (РПМ) при экстремальных температурах и вибрации.

5. Предложен способ применения радиопоглощающих материалов для ослабления явлений резонансов электромагнитных полей и уменьшения помехоэмиссии в корпусах приборов и устройств, приборных модулях и

конструкционных отсеках ЛА.

6. Предложен способ применения РПМ для фильтрации наведенных высокочастотных кондуктивных помех в электрических цепях электротехнических комплексов ЛА.

### **Достоверность полученных результатов**

Достоверность результатов обеспечивается корректным использованием теоретической электротехники, применением аттестованных технических средств испытаний на ЭМС и выполнением экспериментальных исследований в соответствии с общепринятыми методами проведения измерений физических параметров.

### **Практическая значимость**

1. Предложенная методика позволяет определять пути проникновения и распространения электромагнитных помех и рассчитывать их уровни во внутренних цепях ЛА.

2. Проведенные исследования зависимости эффективности экранирования от неоднородностей экранов бортовых кабелей и величины переходного сопротивления между экранами и кожухами электрических соединителей определяют условия достижения необходимого уровня эффективности экранирования бортовых кабельных сетей.

3. На основе результатов исследования коэффициента отражения РПМ при экстремальных температурах и вибрации доказана возможность его применения на космических аппаратах.

4. Предложенный способ применения РПМ позволяет увеличить эффективность экранирования бортовой аппаратуры благодаря снижению помехоэмиссии и уменьшению резонансных явлений в корпусах приборов, устройств, приборных модулях и конструкционных отсеках ЛА.

5. Предложенный способ применения радиопоглощающего материала в электрических цепях позволяет осуществлять фильтрацию высокочастотных кондуктивных помех в электрических цепях.

### **Замечания по диссертационной работе.**

1. Представленная топологическая модель не показывает непосредственных электромагнитных уязвимостей в конструкции.

2. Предложенная методика определения путей проникновения и распространения электромагнитных помех в конструкции ЛА рассматривает конструкцию исключительно в общем случае, и требует адаптации при применении методики к конкретному аппарату.

3. Во второй главе рассмотрены только два вида факторов, влияющих на характеристики электромагнитного экрана кабеля, при всей их многочисленности.

4. Недостаточно полно описаны причины возникновения значительных неоднородностей (качества) электромагнитных экранов.

5. В третьей главе не обоснованы причины выбора конкретного РПМ для исследований.

6. В четвертой главе не показаны сравнительные характеристики эффективности подавления высокочастотных кондуктивных помех радиопоглощающим материалом и обычным фильтром высокой частоты.

7. В оглавлении указано, что заключение начинается со стр. 122, а фактически – со стр. 125. Также в оглавлении указаны акт о внедрении и приложение, которые фактически отсутствуют.

Данные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы Жукова П.А.

### **Заключение по диссертационной работе**

Опубликованные автором по теме диссертации работы подтверждают актуальность, научную новизну и практическую значимость рассматриваемой диссертационной работы.

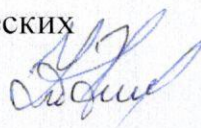
Полученные результаты соответствуют уровню кандидатской диссертации по специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы».

Автореферат в полном объеме отражает содержание диссертации.

Диссертация Жукова П.А. «Исследование средств защиты электротехнических комплексов летательных аппаратов от электромагнитных воздействий» является законченным научным исследованием, соответствующим требованиям "Положения о присуждении ученых степеней", утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г., а ее автор, Жуков Петр Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы».

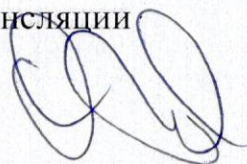
Отзыв на диссертацию рассмотрен и одобрен на заседании секции 10 НТС Центра автоматических космических систем и комплексов АО «ЦНИИмаш» (протокол № 6 от 18.05.2022).

Заместитель начальника Центра автоматических космических систем и комплексов, кандидат технических наук



Е.М. Твердохлебова

Ведущий специалист отдела 10201 «Космические радиотехнические системы связи, вещания, ретрансляции гражданского и военного назначения»



О.В. Жеребко

Инженер 1 категории отдела 10401 «Технологии создания ключевых элементов служебных систем АКСК и технологий обеспечения стойкости к ВВФ», кандидат технических наук



А.А. Маленков

Контактные данные организации:

Акционерное общество «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения» - АО «ЦНИИМАШ»

141070, Московская область, г. Королев, ул. Пионерская, д. 4

Телефон: +7 (495) 513-59-51

Факс: +7(495) 512-21-00

Адрес электронной почты: corp@tsniimash.ru

Официальный сайт: <https://tsniimash.ru>

*Сотзавом ознакомлен  
Жуков П.А.*

*Жуков 1.06.22*