

УДК 621.78: 621.311: 621.317.1: 629.7.05

**АЛГОРИТМ РАЗРАБОТКИ МЕР КОМПЛЕКСНОЙ  
КОНСТРУКТИВНОЙ ЗАЩИТЫ БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ  
КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ОТ ФАКТОРОВ  
ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО РАЗРЯДА**

А.В. Костин

г. Самара, «Самарский государственный аэрокосмический университет  
имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский  
университет)»

В последнее время наблюдается бурное развитие электроники. Увеличивается надёжность, срок службы, расширяются функциональные возможности радиоэлектронной аппаратуры. Всё это происходит на фоне уменьшения габаритов и массы. Указанные общие тенденции не обходят стороной и бортовую аппаратуру (БА) космических аппаратов (КА). К сожалению, такая аппаратура не всегда является стойкой к импульсным электромагнитным помехам, таким как электростатический разряд (ЭСР). Они возникают из-за электризации различных элементов конструкции КА [1]. ЭСР вызывают электромагнитные поля (ЭМП). Последние наводят помехи в цепях БА КА [2]. Для защиты БА КА от факторов ЭСР используют различные конструктивные методы. Эти методы различны по эффективности и по разному влияют на массогабаритные параметры и технологичность БА КА. Существуют методы, которые практически не влияют на массогабаритные параметры и не ухудшают технологичности, при этом они весьма эффективны. Существуют методы, которые лишены этих достоинств. Но у каждого метода имеются границы, при которых их защитные свойства будут исчерпаны. При комплексном применении эти методы дадут больший результат. Однако, при разработке БА КА приходится рассматривать разные методы и выбор оптимального сочетания занимает много времени.

Для решения этого вопроса были проведены экспериментально-теоретические исследования эффективности различных конструктивных методов защиты БА КА от факторов ЭСР. В результате этого эксперимента был предложен алгоритм разработки мер комплексной конструктивной защиты БА КА от факторов ЭСР. Блок-схема алгоритма представлена на рис. 1.

Согласно разработанному алгоритму, в первую очередь, необходимо решить вопрос с внутренней и внешней электризацией БА КА. При внутренней электризации неметаллизированные детали и сборки в корпусе БА КА (особенно изоляторы) могут заряжаться до такой разности потенциалов, что возможен электрический пробой, то есть ЭСР внутри корпуса. Такие ЭСР опасны не только тем, что создают ЭМП. Возможны ЭСР в проводники и выводы электрорадиоизделий (ЭРИ). Такие ЭСР могут

вызвать сбой в работе, а иногда и необратимый отказ. Поэтому от внутренней электризации необходимо защищаться.

На сегодняшний день имеется два основных метода защиты от внутренней электризации:

– Защита при помощи экрана определённой толщины, через который заряженные частицы проникать не будут (не хватит энергии).

– Недостатком первого способа является наличие массивных экранов для частиц. Второй метод основан на снижении омического сопротивления диэлектриков. В этом случае количество проникших частиц будет настолько мало, что эти частицы будут стекать на корпус через омическое сопротивление диэлектриков [1].

Таким образом, при большем потоке заряженных частиц будет обеспечиваться их сток на корпус [3, 4].

Недостатком последнего метода является наличие больших токов утечки полезных сигналов, поэтому автор настоящей работы считает, что в первую очередь стоит рассматривать первый (классический) метод. Аналогично с внешней электризацией БА КА, но только экранов здесь не применяют, а электризацию исключают путём металлизации всех элементов конструкции или применения электропроводящих покрытий. Но сигнальных цепей здесь нет и недостатки в этом методе отсутствуют. Исключение составляет БА, в которой изоляционные материалы на внешней поверхности необходимы. Но такой аппаратуры на борту КА значительно меньше. Исключение внешней электризации приведёт к снижению вероятности возникновения ЭСР в корпусе, весьма опасного для БА КА.

Следующим этапом следует решать вопрос защиты от ЭМП ЭСР. В первую очередь необходимо применять методы, позволяющие снизить помехи в цепях БА КА за счёт трассировки печатных плат и раскладки жгутов. Этот метод не увеличивает массы и габаритов БА КА, незначительно ухудшает технологичность и весьма эффективен.

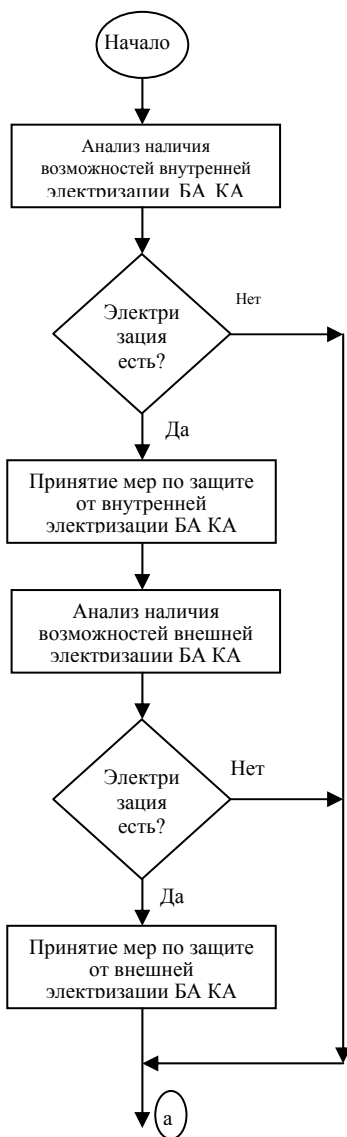
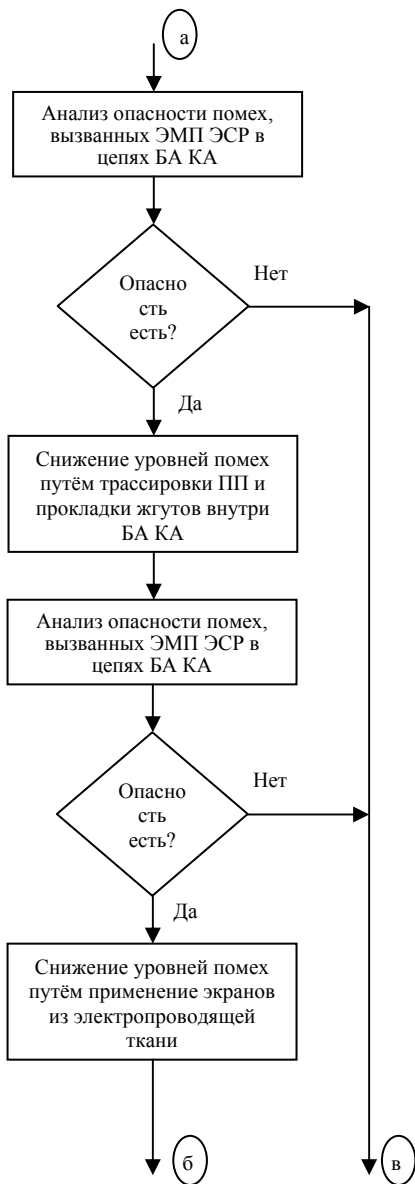
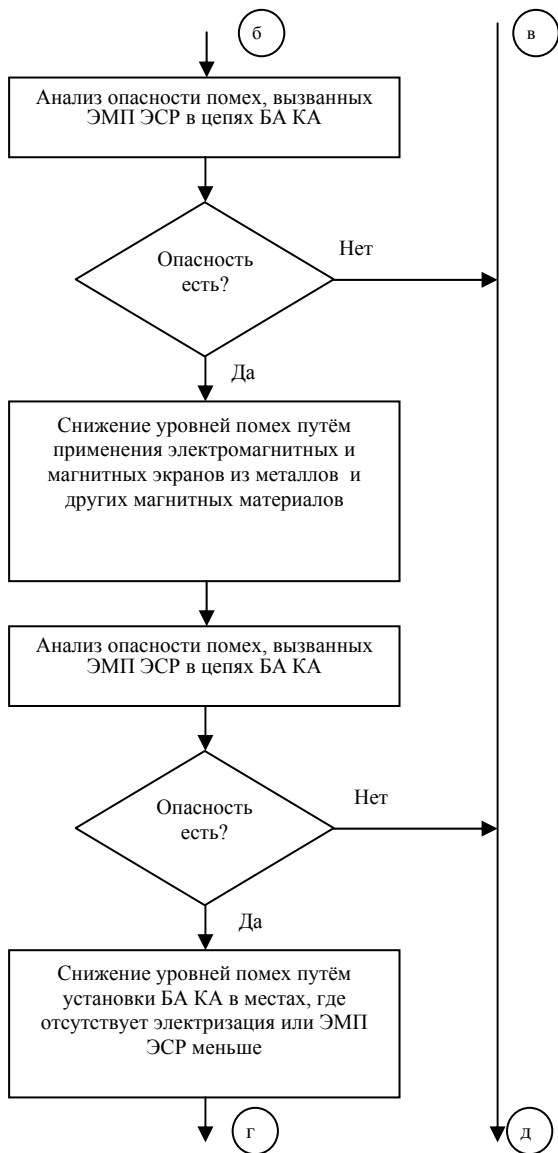


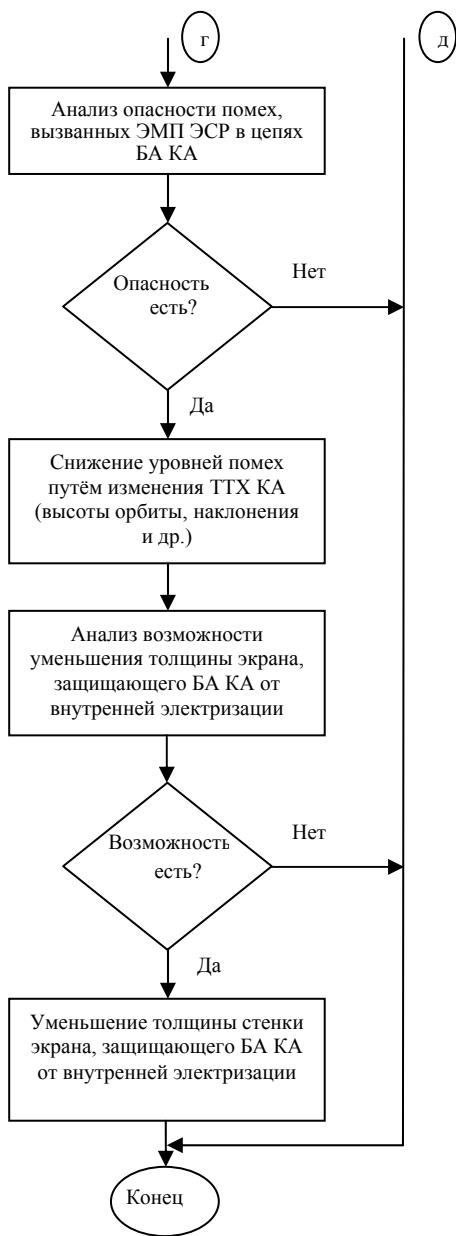
Рисунок 1 – Блок-схема алгоритма разработки комплексной конструктивной защиты БА КА от ЭСР



Продолжение рис 1.



Продолжение рис 1.



Продолжение рис 1.

В процессе исследований было установлено, что цепи БА КА можно рассматривать как токовые контуры, состоящие из источника сигнала, нагрузки, прямого и возвратного провода. Чем меньше площадь этого контура, тем меньше магнитный поток через этот контур, а, следовательно, и меньше ЭДС помехи.

Если этим методом добиться устойчивости БА КА к ЭМП ЭСР не удаётся, то необходимо применять экранирование. Среди всех экранов достаточно неплохо показал себя многослойный экран из проводящей ткани. Этот экран достаточно технологичный, лёгкий и практически не увеличивает габариты БА КА. Если и это недостаточно, тогда необходимо применять электромагнитные экраны из металлов или магнитные из магнитных материалов. Поскольку цепи БА КА представляют собой токовые контуры, то они подвержены воздействию магнитного поля в первую очередь. Электромагнитный экран может оказаться неэффективным для защиты от магнитного поля, так как большая часть энергии импульса ЭСР сосредоточена в области низких частот. Тогда может помочь экран из ферромагнитного материала.

Если экран не помогает или он получается слишком тяжёлым, то необходимо установить БА в местах КА где уровень ЭМП ЭСР ниже. То есть, несколько изменить компоновку самого КА. Если ничего из вышеперечисленного не привело БА к устойчивости, что практически никогда не бывает, то необходимо пересматривать тактико-технические характеристики (ТТХ) самого спутника, в том числе высоту орбиты и наклонение. Но последнее практически никогда не требуется. После перекомпоновки КА или изменения его ТТХ необходимо пересмотреть толщины экранов, защищающих БА от внутренней электризации. Возможно, толщины экранов можно будет снизить, тем самым, уменьшить массу БА КА.

Разработанный алгоритм позволит оптимизировать действия разработчика для достижения наилучшего результата при разработке мер комплексной конструктивной защиты БА КА от факторов ЭСР.

#### Список использованных источников

1 NASA-HDBK-4002A. Mitigating in-space charging effects. Guideline. National Aeronautics and Space Administration, 2011.-181 p.

2 Костин А.В. Пиганов М.Н. Расчёт помех в цепях бортовой аппаратуры космических аппаратов, вызванных электростатическими разрядами // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 2012. – №4(5). – С. 1376-1379.

3 Белик Г.А., Абрамешин А.Е., Саенко В.С. Внутренняя электризация бортовой аппаратуры космических аппаратов // Технологии электромагнитной совместимости. – 2012. - №3(42). – С.5-16.

4 Абрамшин А.Е. Развитие концепции нанопроводимости диэлектриков в отечественной космической технике // Технологии электромагнитной совместимости. – 2012. - №3(42). – С.29-32.

УДК 621.78: 621.311: 621.317.1: 629.7.05

**КОМПЛЕКСНАЯ ЗАЩИТА БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ  
КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ОТ ПОМЕХ В БОРТОВОЙ  
КАБЕЛЬНОЙ СЕТИ, ВЫЗВАННЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ  
ПОЛЕМ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО РАЗРЯДА**

А.В. Костин

г. Самара, «Самарский государственный аэрокосмический университет  
имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский  
университет)»

Космическая техника развивается в сторону увеличения срока активного существования, расширения функциональных возможностей, снижения габаритов и массы. Такая тенденция привела к необходимости применения полупроводниковых приборов с высоким быстродействием. В отличие от электромагнитных реле, программных механизмов и полупроводниковых приборов с низких быстродействием они более чувствительны к помехам, вызванным различными явлениями (как природными, так и антропогенного характера). Одним из таких явлений природы является электризация космического аппарата (КА). В результате электризации неметаллизированные элементы конструкции заряжаются таким образом, что между ними образуются разности потенциалов [1– 3]. Эти разности потенциалов достигают значений 20 кВ [3]. Последнее приводит к возникновению электростатических разрядов (ЭСР). ЭСР порождают импульсное электромагнитное поле, которое воздействует как на бортовую аппаратуру (БА) так и на бортовую кабельную сеть (БКС), вызывая наводки. Наводки в БКС также воздействуют на входы БА КА и могут привести не только к сбоям, но и к необратимым отказам. Необратимый отказ БА может привести к потере КА.

Пагубное влияние наводок в БКС, вызванных ЭСР, можно ослабить, а в некоторых случаях исключить полностью. Для оптимизации конструкции и ускорения процесса конструирования систем КА, состоящих из БА и БКС, составлен специальный алгоритм разработки мер комплексной защиты БА КА от помех в БКС, вызванных ЭМП ЭСР. Этот алгоритм был создан на основе результатов анализа устройств защиты БА КА от помех, наведённых в БКС при воздействии ЭСР.

Первым делом необходимо провести анализ возможности вывода из строя ЭРИ помехой. Если такой опасности нет, то необходимо провести