ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 72096— 2025

Средства орбитальные

ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТОЙКОСТИ АВТОМАТИЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ К ВОЗДЕЙСТВИЮ ФАКТОРОВ ЭЛЕКТРИЗАЦИИ

Общие требования

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2025

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Акционерным обществом «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнёва» (АО «РЕШЕТНЁВ») и Федеральным государственным бюджетным учреждением «Российский институт стандартизации» (ФГБУ «Институт стандартизации»)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации 321 «Ракетно-космическая техника»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 мая 2025 г. № 484-ст

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2025

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины и определения 2
4 Сокращения и обозначения 4
5 Общие положения 5
6 Порядок обеспечения стойкости к воздействию факторов электризации 5
6.1 Порядок обеспечения стойкости автоматического космического аппарата и его составных частей к воздействию поверхностной электризации 5
6.2 Порядок обеспечения стойкости автоматического космического аппарата и его составных частей к воздействию внутренней электризации 6
6.3 Порядок обеспечения стойкости солнечных батарей к воздействию вторичного дугообразования 6
7 Методология обеспечения стойкости автоматического космического аппарата к воздействию факторов электризации 7
7.1 Требования по стойкости к воздействию факторов электризации 7
7.2 Мероприятия по обеспечению стойкости к воздействию факторов электризации 7
7.3 Выбор материалов 9
7.4 Этап выпуска документации в обеспечение стойкости автоматического космического аппарата и его составных частей к воздействию факторов электризации 9
7.5 Этап проведения наземной экспериментальной отработки автоматического космического аппарата и его составных частей на стойкость к воздействию факторов электризации 11
Приложение А (рекомендуемое) Требования по стойкости к воздействию поверхностной и внутренней электризации 13
Приложение Б (справочное) Пример расчетно-экспериментальной оценки стойкости бортовой аппаратуры к воздействию высокоэнергетичных электронов 15
Приложение В (справочное) Результаты экспериментальных исследований, полученных для различных комбинаций напряжения и силы тока 17
Приложение Г (рекомендуемое) Алгоритм выбора материалов внешних поверхностей с точки зрения обеспечения стойкости к воздействию факторов электризации 18
Приложение Д (рекомендуемое) Типовая методика испытаний бортовой аппаратуры и бортового оборудования на стойкость к воздействию электростатических разрядов 19
Библиография 22

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Средства орбитальные

ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТОЙКОСТИ АВТОМАТИЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ К ВОЗДЕЙСТВИЮ ФАКТОРОВ ЭЛЕКТРИЗАЦИИ

Общие требования

The orbital vehicles. Ensuring spacecrafts sustainability to space charging effects.
General requirements

Дата введения — 2026—01—01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на вновь разрабатываемые и серийно выпускаемые автоматические космические аппараты и их составные части, в том числе служебные бортовые системы, бортовую аппаратуру, бортовое оборудование, и устанавливает общие требования по обеспечению защищенности и стойкости к воздействию факторов электризации, обусловленных воздействием потоков заряженных частиц космического пространства в условиях ЛИ.

Настоящий стандарт предназначен для разработчиков и изготовителей автоматических космических аппаратов и их составных частей, в том числе служебных бортовых систем, бортовой аппаратуры и бортового оборудования, и содержит общие требования по защищенности и стойкости к воздействию факторов электризации.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 8.417 Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин

ГОСТ 18707 Перемычки для обеспечения защиты изделий ракетной и ракетно-космической техники от статического электричества. Технические условия

ГОСТ 19005 Средства обеспечения защиты изделий ракетной и ракетно-космической техники от статического электричества. Общие требования к металлизации и заземлению

ГОСТ 30804.4.2 Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к электростатическим разрядам. Требования и методы испытаний

ГОСТ Р 15.301 Система разработки и постановки продукции на производство. Продукция производственно-технического назначения. Порядок разработки и постановки продукции на производство

ГОСТ Р 56515 Аппараты космические автоматические и системы бортовые служебные космических аппаратов. Общие требования по защищенности и стойкости к воздействию электрофизических факторов космического пространства и статического электричества

ГОСТ Р 56529 Совместимость космической техники электромагнитная. Общие требования и методы испытаний

ГОСТ Р 56530 Совместимость космической техники электромагнитная. Общие требования к бортовой кабельной сети космической техники

ГОСТ Р 56531 Совместимость космической техники электромагнитная. Программа обеспечения электромагнитной совместимости

ГОСТ Р 59323 (ИСО 16691:2014) Системы космические. Покрытия терморегулирующие для космических аппаратов. Общие требования

Издание официальное

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1

автоматический космический аппарат; АКА: Космический аппарат, конструктивное исполнение которого не предусматривает в процессе его функционирования наличие космонавтов на борту.

[ГОСТ Р 53802—2010, статья 110]

3.2 **бортовая аппаратура автоматического космического аппарата;** БА АКА: Совокупность электрических, электромагнитных, электронных и оптических приборов, размещаемых на борту автоматического космического аппарата.

3.3 **бортовое оборудование автоматического космического аппарата;** БО АКА: Технические средства, входящие в состав автоматического космического аппарата.

3.4

бортовая кабельная сеть; БКС: Совокупность кабелей, предназначенных для объединения приборов в единую систему, обеспечивающую выполнение посредством применения изделий поставленных задач в заданных условиях.

[ГОСТ Р 56530—2015, статья 3.1]

3.5 **бортовая служебная система автоматического космического аппарата:** Совокупность элементов бортового оборудования автоматического космического аппарата, взаимосвязанных между собой при реализации возложенных на систему функций.

3.6

внутренняя электризация: Явление, вызываемое проникновением электронов высокой энергии сквозь конструкцию автоматического космического аппарата и (или) стенки компонентов, когда эти частицы попадают на незаземленные металлические или диэлектрические внутренние поверхности.

[ГОСТ Р 56529—2015, статья 3.1.1]

3.7 **временная самоподдерживающаяся дуга:** Вторичная дуга, которая затухает даже в случае присутствия электропитания.

3.8 **вторичная дуга:** Прохождение тока от внешнего источника (например, солнечной батареи) по проводящему каналу (в том числе плазменному), изначально возникшему в результате первичного электростатического разряда.

3.9 **высокоэнергетичные электроны:** Электроны космического пространства с энергией от $1 \cdot 10^5$ до $1 \cdot 10^7$ эВ естественного происхождения, обуславливающие процессы внутренней электризации.

3.10 **дифференциальная зарядка:** Явление возникновения разности электростатических потенциалов между отдельными составными частями автоматического космического аппарата вследствие воздействия потоков заряженных частиц, обусловленное различными электрофизическими свойствами материалов.

3.11 **магнитосферная плазма:** Плазма внутри магнитосферы, образованная электронами и ионами ионосферного и межпланетарного происхождения.

3.12 **негерметичный приборный отсек автоматического космического аппарата:** Отсек автоматического космического аппарата, предназначенный для размещения бортового оборудования автоматического космического аппарата, корпус которого выполнен в негерметичном исполнении.

3.13 **неустойчивая вторичная дуга:** Вторичная дуга, которая длится только во время первичного электростатического разряда и затухает, когда первичный электростатический разряд прекращается.

3.14 **обеспечение стойкости автоматического космического аппарата к воздействию факторов электризации:** Совокупность процессов, переводящих требования по стойкости автоматического космического аппарата к воздействию факторов электризации в характеристики, обеспечивающие выполнение автоматическим космическим аппаратом заданных функций с параметрами, установленными требованиями технической документации, в течение требуемого срока активного существования в условиях воздействия факторов космического пространства.

3.15

отказ: Событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта.
[ГОСТ Р 27.102—2021, статья 36]

3.16 **передаточный импеданс:** Отношение напряжения, измеренного во вторичной (внутренней) цепи коаксиального кабеля, к току в первичной (внешней) цепи, нормированное на единицу длины провода.

3.17 **плазма электрического ракетного двигателя [стационарного плазменного двигателя]:** Плазма, образующаяся в результате функционирования электрического ракетного двигателя [стационарного плазменного двигателя]

Примечание — Плазма электрического ракетного двигателя [стационарного плазменного двигателя] воздействует на автоматический космический аппарат в виде плазменной струи и низкоэнергетической компоненты.

3.18 **постоянная самоподдерживающаяся дуга:** Вторичная дуга, которая не прекращается, пока доступно внешнее электропитание.

3.19 **работоспособное состояние**: Состояние объекта, в котором он способен выполнять заданные функции и в котором значения параметров, характеризующих его способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативной и технической документации.

3.20 **радиоэлектронные средства:** Технические средства, предназначенные для передачи и (или) приема радиоволн, состоящие из одного или нескольких передающих и (или) приемных устройств, либо комбинации таких устройств и включающие в себя вспомогательное оборудование.

3.21 **стойкость:** Способность автоматического космического аппарата длительное время сохранять и проявлять свои функции, не поддаваясь разрушению или изменениям под воздействием электрофизических факторов космического пространства, а также при развитии и после электростатических разрядов на внешней поверхности космического аппарата и его внутренних объемах.

3.22 **устойчивая вторичная дуга:** Дуга, наблюдаемая после первого электростатического разряда и характеризуемая большей длительностью, чем первичный электростатический разряд.

3.23 **факторы электризации:** Внешние воздействующие факторы, возникающие в результате воздействия на автоматический космический аппарат потоков электронов и ионов, характеризуемые электрофизическим воздействием и связанные с накоплением электрического заряда на автоматическом космическом аппарате и его составных частях и развитием разрядных процессов.

Примечание — К факторам электризации относятся магнитосферная плазма, потоки электронов и ионов естественного и техногенного происхождения и высокоэнергетичные электроны. Следствием воздействия факторов электризации является возникновение электростатического разряда.

3.24 **флюенс:** Отношение числа частиц, проникающих в элементарную сферу, к площади поперечного сечения этой сферы.

3.25

электростатический разряд; ЭСР: Импульсный перенос электростатического заряда между телами с разными электростатическими потенциалами.
[ГОСТ IEC 61340-5-1—2019, статья 3.5]

4 Сокращения и обозначения

4.1 В настоящем стандарте применены следующие сокращения:

АКА — автоматический космический аппарат;
АП — аванпроект;
АФУ — антенно-фидерное устройство;
БА — бортовая аппаратура;
БКС — бортовая кабельная сеть;
БО — бортовое оборудование;
БС — батарея солнечная;
ВЭО — высокоэллиптическая орбита;
ГСО — геостационарная орбита;
ИД — исходные данные;
КД — конструкторская документация;
КПЭО — комплексная программа экспериментальной отработки;
ЛИ — летные испытания;
НГПО — негерметичный приборный отсек;
НИР — научно-исследовательская работа;
НЭО — наземная экспериментальная отработка;
ОКР — опытно-конструкторская работа;
ПМИ — программа и методика испытаний;
ПНЭО — программа наземной экспериментальной отработки;
ПО — программное обеспечение;
ПОН — программа обеспечения надежности;
ПОСТ — программа обеспечения стойкости;
ПРП — протокол разрешения применения;
ПОЭМС — программа обеспечения электромагнитной совместимости;
РКД — рабочая конструкторская документация;
РСП — решение о согласовании применения;
РЭО — расчетно-экспериментальная оценка;
САПР — система автоматизированного проектирования;
САС — срок активного существования;
СК — система коррекции;
СОС — система ориентации и стабилизации;
СПД — стационарный плазменный двигатель;
СТР — система терморегулирования;
СЧ — составная часть;
СЭП — система электропитания;
ТЗ — техническое задание;
ТП — техническое предложение;
ТТЗ — тактико-техническое задание;
ТУ — технические условия;
ФКП — факторы космического пространства;
ЭВТИ — экранно-вакуумная теплоизоляция;
ЭКБ — электронная компонентная база;
ЭМИ — электромагнитный импульс;
ЭМП — электромагнитное поле;
ЭСР — электростатический разряд;
CDR — критическое рассмотрение проекта (Critical Design Review);
PDR — предварительное рассмотрение проекта (Preliminary Desing Review).

4.2 В настоящем стандарте применены следующие обозначения:

e — заряд электрона;

Flux1 — плотность выходящего интегрального потока из сотовой панели и пластины плиты АМг6;

Flux2 — плотность выходящего интегрального потока из сотовой панели, пластины плиты АМг6 и печатной платы БА;

I — ток, протекающий в печатной плате БА;

j1 — полная плотность потока электронов, осажденных в печатной плате БА.

5 Общие положения

5.1 АКА на этапе ЛИ функционирует в условиях воздействия на него факторов электризации. Типовые требования к воздействию факторов электризации приведены в А.1.

В процессе ЛИ АКА и его СЧ, в том числе БА и БО подсистем, подвергаются воздействию потоков электронов и ионов космической (магнитосферной) плазмы. Согласно сведениям, представленным в [1], при взаимодействии плазмы с конструкционными материалами внешней поверхности АКА вследствие сложной геометрии поверхности, различия в освещенности и электрофизических параметрах различных материалов возникает неравномерное распределение заряда (дифференциальная зарядка) на поверхности АКА, а также неравномерная электризация конструкционных материалов поверхности, которые приводят к возникновению ЭСР.

При воздействии космической плазмы происходит накопление заряда и развитие зарядно-разрядных процессов в конструкции БА и БО, имеющих в своем составе открытые элементы из диэлектрических материалов (оптические приборы СОС, электрообогреватели СТР, АФУ, двигательные установки и оборудование СК, неэкранированные датчики, терморегулирующие покрытия, панели БС).

На диэлектрических материалах, контактирующих с космической плазмой, происходят зарядно-разрядные процессы и возникают электромагнитные поля и токи, влияющие на функционирование БА и приводящие к возникновению наведенных высокочастотных помеховых импульсов в БКС АКА, что является причиной нарушения работоспособности БА, имеющей электрическую связь с источником ЭСР.

При воздействии на поверхность АКА высокоэнергетичных электронов космического пространства возможно возникновение эффектов внутренней электризации элементов БА, расположенной как внутри, так и снаружи АКА. Вследствие чего возможно развитие внутри БА и БО, имеющих в своем составе приборные корпуса, изделия ЭКБ и печатные платы, ЭСР.

Перечень и уровни факторов электризации могут быть уточнены с учетом типа орбиты эксплуатации АКА.

Для повышения достоверности действующей модели воздействия факторов электризации, а также оперативного контроля воздействия факторов электризации на АКА в ходе натурной эксплуатации в реальном времени, в состав АКА рекомендуют включение БА контроля параметров электризации, при условии технической возможности реализации и наличия соответствующих ресурсов АКА.

5.2 Для обеспечения стойкости АКА и его СЧ, в том числе БА и БО к воздействию факторов электризации определяют и формулируют требования по стойкости АКА (СЧ АКА, в том числе БА и БО) к воздействию факторов электризации.

Требования по стойкости к воздействию факторов электризации задают исходя из условий функционирования АКА, БА и БО с учетом требований назначения БА и БО и конструктивного исполнения.

5.3 Требования по стойкости АКА и его СЧ, в том числе БА и БО, к воздействию факторов электризации задают в документации на разработку (спецификация на внешние воздействия на АКА и далее спецификация на разработку СЧ АКА), в ТТЗ (ТЗ) на АП/ТП (СЧ АП/СЧ ТП) или ТТЗ (ТЗ) на ОКР/НИР (СЧ ОКР/СЧ НИР) по созданию космической системы или космического комплекса и в документации на разработку ТЗ (ИД) на АКА и в ТЗ на разработку СЧ АКА.

Примечание — Требования по стойкости к воздействию факторов электризации для серийно изготавливаемых АКА и его СЧ, в том числе БА и БО, задают в ТТЗ (ТЗ) на разработку, и требования должны быть включены в ТУ с последующим присвоением литеры «О» и выше.

6 Порядок обеспечения стойкости к воздействию факторов электризации

6.1 Порядок обеспечения стойкости автоматического космического аппарата и его составных частей к воздействию поверхностной электризации

6.1.1 Типовые требования по стойкости к эффектам поверхностной электризации перечислены в А.2 — А.3.

6.1.2 С целью минимизации воздействия факторов поверхностной электризации в части выбора материалов следует руководствоваться 7.3.

6.1.3 На этапе выпуска РКД на БА и БО разработчиком проводится РЭО стойкости к воздействию магнитосферной плазмы в соответствии с 7.4.

В рамках РЭО стойкости проводится анализ выполнения требований по выбору материалов, конструктивному исполнению и металлизации БА и БО. Окончательное заключение об устойчивости к ЭСР

дается после подтверждения стойкости на экспериментальных или опытных образцах и после проведения испытаний при воздействии магнитосферной плазмы. Необходимость проведения испытаний при воздействии магнитосферной плазмы определяется результатами РЭО.

6.1.4 Автономные испытания БА и БО на стойкость к воздействию ЭСР проводят по ПМИ в соответствии с 7.5.

6.1.5 Испытания конструкционных материалов при воздействии магнитосферной плазмы проводят при необходимости уточнения уровня электризации материалов, применяемых в конструкции БА, БО, АКА на специальных стендах, имитирующих воздействие факторов электризации (потоки заряженных частиц).

6.2 Порядок обеспечения стойкости автоматического космического аппарата и его составных частей к воздействию внутренней электризации

6.2.1 Высокоэнергетичные электроны (с энергией от $1 \cdot 10^5$ до $1 \cdot 10^7$ эВ) будут проникать во внутреннюю часть АКА и его СЧ, в том числе БА и БО. После проникновения они осаждаются в диэлектриках (печатных платах) или на незаземленных проводниках. При плотности тока более 0,1 пА/см^2 возможно возникновение внутренних ЭСР на близлежащие проводники. Если проводником являются вывод, корпус (например, металлический или металл-керамика), радиатор изделия ЭКБ, ЭСР может вызвать его отказ, так как, если проводник ведет к чувствительному поражаемому элементу или находится в непосредственной близости от него, это может вызвать разрушение или повреждение цепи. Воздействие данного фактора характерно для орбит выше 1500 км.

6.2.2 Типовые требования по стойкости к эффектам внутренней электризации приведены в А.4.

6.2.3 На этапе выпуска РКД на АКА и его СЧ, в том числе БА и БО, имеющих в своем составе приборные корпуса, изделия ЭКБ и печатные платы, разработчиком проводится РЭО стойкости к воздействию высокоэнергетичных электронов в соответствии с 7.4. Ее результаты представляют в качестве отдельного раздела в РЭО стойкости АКА и СЧ АКА, в том числе БА и БО к воздействию факторов электризации.

В рамках РЭО определяют величину уровня экранирования конструкцией БА и ее достаточность для обеспечения безопасного уровня тока в печатной плате. Пример РЭО стойкости БА и БО к воздействию высокоэнергетичных электронов приведен в приложении Б.

6.2.4 Для многослойных конструкций и кабелей с диэлектрической изоляцией проводят расчет воздействия внутренней электризации с оценкой вероятности возникновения внутреннего ЭСР в изоляции БКС. Данный расчет рекомендуется проводить в рамках РЭО на уровне АКА и его СЧ, имеющих в своем составе БКС.

6.3 Порядок обеспечения стойкости солнечных батарей к воздействию вторичного дугообразования

6.3.1 Вторичные дуги, подпитываемые источниками питания АКА, являются существенным повреждающим механизмом, поскольку источник питания может подвергнуться короткому замыканию и нарушению работоспособности. К повреждаемым СЧ АКА, в том числе БА и БО, относятся БС и соответствующие цепи СЭП, токосъемные кольца приводных механизмов БС, узлы электрических силовых установок и двигателей, а также высоковольтные источники питания.

6.3.2 Цель задания данных требований — избежать образования устойчивых вторичных дуг и их воздействия на солнечные панели, а также предотвратить снижение характеристик СЭП в целом вследствие воздействия вторичных дуг. Ниже представлена типовая формулировка данных требований:

«БС в целом должна исключать возможность возникновения дуговых разрядов при воздействии магнитосферной плазмы, поверхностных ЭСР, высокоэнергетичных электронов и плазмы СПД».

«Стойкость БС к дугообразованию должна подтверждаться РЭО и автономными испытаниями (необходимость определяется по результатам РЭО)».

6.3.3 Поверхностная электризация и, как следствие, протекание разрядных процессов на СЧ БС происходят постоянно при эксплуатации АКА на орбите. К БС с напряжением 10 В и менее требования по стойкости к вторичному дугообразованию допускается не предъявлять. Результаты экспериментальных исследований, полученных для различных комбинаций напряжения и силы тока, приведены в приложении В.

7 Методология обеспечения стойкости автоматического космического аппарата к воздействию факторов электризации

7.1 Требования по стойкости к воздействию факторов электризации

Требования по стойкости к воздействию факторов электризации, позволяющие обеспечить работоспособность АКА и его СЧ, в том числе БА и БО, на протяжении всего САС, задают в соответствующей документации согласно 5.3. Требования по стойкости к воздействию поверхностной и внутренней электризации на АКА и его СЧ, в том числе БА и БО, приведены в А.2 — А.4. Требования, представленные в А.5, задаются на усмотрение разработчика АКА и его СЧ, в том числе БА и БО, и являются обязательными для БА, имеющей электрические связи с БО, диэлектрические материалы которого непосредственно контактируют с магнитосферной плазмой.

Примечание — Допускается не предъявлять требования к АКА и его СЧ, в том числе БА и БО по стойкости к воздействию магнитосферной плазмы (приложение А, А.2), а задать только требования по стойкости к воздействию ЭСР в соответствии с действующей нормативной документацией и проводить экспериментальную отработку АКА и его СЧ, в том числе БА и БО, на стойкость к воздействию ЭСР.

Выполнение требований стойкости к воздействию факторов электризации, приведенных в приложении А, подтверждается при разработке АКА и его СЧ, в том числе БА и БО, в соответствии с ТТЗ (ТЗ), их подтверждение вносят в техническую документацию. При серийно изготавливаемых АКА и его СЧ, в том числе БА и БО, объем и порядок изготовления и испытаний оговаривают в специальных пунктах ТУ или иных документах на изготовление серийных изделий. Мероприятия по доквалификации серийно изготавливаемых АКА, СЧ АКА, БА и БО определяют исходя из изменений в требованиях к условиям эксплуатации, состава АКА, конструкции БА, БО и их электрических интерфейсов.

7.2 Мероприятия по обеспечению стойкости к воздействию факторов электризации

7.2.1 Стойкость АКА к воздействию факторов электризации обеспечивается совокупностью проводимых мероприятий на этапах разработки РКД и НЭО в соответствии с ГОСТ Р 15.301, а также проектно-конструкторскими решениями, принятыми с учетом воздействия факторов электризации.

7.2.2 Проектно-конструкторскими решениями, обеспечивающими стойкость АКА к воздействию факторов электризации, являются:

- решения по выбору конструкционных материалов;
- решения по конструктивному исполнению СЧ АКА;
- решения по взаимному расположению СЧ АКА, подвергаемых воздействию факторов электризации, и СЧ АКА, обуславливающих это воздействие.

7.2.3 К мероприятиям по обеспечению стойкости к воздействию факторов электризации, проводимым на этапах РКД и НЭО, относятся:

- задание требований в ТЗ (ИД) на АКА, ТЗ на разработку БА, БО и ПРП (РСП) по обеспечению стойкости к воздействию факторов электризации;
- разработка и выпуск отчета по РЭО стойкости АКА в целом к воздействию факторов электризации (магнитосферная плазма, потоки заряженных частиц и высокоэнергетичные электроны, следствием которых является ЭСР), с учетом параметров орбиты[1)];
- разработка и выпуск отчета по РЭО стойкости СЧ АКА, в том числе БА и БО, к воздействию факторов электризации (магнитосферная плазма, поток заряженных частиц и высокоэнергетичные электроны, следствием которых является ЭСР и высокочастотные помеховые импульсы)[1)];
- разработка конструктивных решений по защите от факторов электризации;
- внесение в РКД конструктивных решений по защите от факторов электризации;
- отражение в ТД реализации конструктивных решений по защите от факторов электризации;
- проведение автономных испытаний СЧ АКА, в том числе БА и БО, на стойкость к воздействию ЭСР (обязательный вид испытаний);
- проведение испытаний диэлектрических и композитных материалов, не применяемых ранее, на стойкость к воздействию магнитосферной плазмы (необходимость определяют результатами РЭО);

[1)] Отчет по РЭО стойкости АКА и СЧ АКА, в том числе БА и БО, к воздействию факторов электризации допускается выпускать при расчете стойкости к ФКП.

- проведение испытаний диэлектрических и композитных материалов и БО, гальванически связанных с электрическими цепями БКС, с целью определения параметров помеховых импульсов от ЭСР, инжектируемых в БКС (необходимость определяют результатами РЭО);

- проведение испытаний АКА на стойкость к воздействию ЭСР[1)].

7.2.4 При выпуске РКД выполняют следующие основные мероприятия, которые позволяют минимизировать эффекты электризации:

- корпуса БА проектируют как клетку Фарадея, если это не противоречит выполнению целевой функции. Конструктивно корпуса БА, блочные и кабельные части соединителей, экраны кабелей должны образовывать электрически непрерывную экранирующую поверхность;

- составные части корпуса прибора должны быть металлизированы между собой, сам корпус прибора металлизирован с конструкцией АКА. Следует избегать «последовательного соединения» при металлизации корпусов приборов с корпусом АКА, предпочтительно металлизировать корпуса приборов отдельно друг от друга;

- применение диэлектрических материалов должно быть минимальным, конструктивные диэлектрические материалы должны иметь антистатическое покрытие за исключением технически обоснованных случаев;

- диэлектрические материалы на металлических (проводящих) подложках (в том числе и лакокрасочные покрытия) должны иметь удельное объемное сопротивление не более $1 \cdot 10^9$ Ом · м;

- материалы на диэлектрических подложках (в том числе и лакокрасочные покрытия) должны металлизироваться по краям и иметь удельное поверхностное сопротивление не более $1 \cdot 10^8$ Ом;

- в составе БКС АКА для обеспечения непрерывности экранирования необходимо использовать соединители, имеющие электропроводящую поверхность, а также экранированные электрические кабели. БКС АКА может быть выполнена с одним экраном либо с двумя — внешним и внутренним;

- в составе БКС АКА применяются электропроводящие, экранирующие соединители, обеспечивающие непрерывность экранирования: «корпус прибора — соединитель — внешний экран кабеля»;

- при проектировании и разработке БКС АКА необходимо предусмотреть металлизацию внешних экранов кабелей с корпусом электрического соединителя в соответствии с ГОСТ Р 56530. Вывод внешнего экрана кабеля на контакт электрического соединителя не допускается;

- совместная прокладка в одном экране информационных и силовых цепей исключается;

- цепи матричных команд не должны иметь гальванической связи с корпусом;

- на этапе выпуска и согласования общих электрических схем, схем электрических принципиальных, РКД на БКС АКА проводят анализ правильности разработки сборок БКС с точки зрения защиты от электризации;

- все композитные и диэлектрические материалы, применяемые на поверхностях конструкции АКА, должны пройти испытания на электризуемость. Применение таких материалов должно происходить с учетом результатов испытаний;

- способы металлизации БА, БО, БКС и других элементов конструкции АКА, выполнение электрических соединений и требования к величинам переходных сопротивлений должны соответствовать ГОСТ 19005. Предпочтительным способом металлизации является металлизация через элемент крепления или контакт поверхностей;

- корпуса технологических соединителей должны быть закрыты металлическими крышками, обеспечивающими переходное сопротивление с корпусом соединителя или АКА не более 3 мОм;

- в составе матов ЭВТИ используются пленки с двусторонней металлизацией. Металлизированные слои пленок матов ЭВТИ (в том числе покрытий внешней поверхности) должны электрически соединяться с корпусом АКА в точках металлизации посредством перемычек в соответствии с ГОСТ 18707;

- все элементы конструкции АКА, в том числе маты ЭВТИ, площадью более 0,2 м^2 и длиной более 0,5 м должны быть металлизированы. В технически обоснованных случаях, для чувствительной к ЭСР БА и БО, допускается металлизировать элементы конструкции АКА меньших размеров и площадей;

- отработка стойкости БА и БО к воздействию ЭСР обеспечивается автономными испытаниями по специальным ПМИ (обязательный вид испытаний). В технически обоснованных случаях по решению

[1)] Испытания на стойкость к воздействию ЭСР АКА и его СЧ, в том числе БА и БО, при серийном производстве допускается проводить не для всех серийных изделий, а только для одного типопредставителя партии изделий. Количество типопредставителей и частоту испытаний определяют в ТУ и КПЭО на изделие, допускается проведение испытаний СЧ АКА, в том числе БА и БО, на стойкость к воздействию ЭСР в составе АКА.

головного разработчика АКА экспериментальное подтверждение требований по стойкости к ЭСР для БА и БО допускается проводить в составе изделий верхнего уровня;

- стойкость АКА в целом к воздействию ЭСР подтверждается на этапе комплексных электрических (электрорадиотехнических) испытаний АКА.

7.2.5 Выполнение требований по стойкости БС к вторичному дугообразованию обеспечивается следующими мероприятиями, выполняемыми на этапе разработки РКД:

- выбором материалов БС из соображений минимизации воздействия факторов электризации;
- введением дополнительной изоляции СЧ БС, на которых возможны процессы дугообразования;
- введением сосредоточенной резистивной развязки между корпусом АКА и каркасом БС, при условии, что шина электропитания АКА имеет прямую электрическую связь с корпусом АКА.

Выбор мероприятий необходимо осуществлять исходя из технической возможности их реализации. Допускается их совокупная реализация, а также каждого из них по отдельности.

7.3 Выбор материалов

7.3.1 Для обеспечения минимизации дифференциальной зарядки конструкции и интенсивности разрядов следует использовать материалы с наименьшей степенью электризуемости.

7.3.2 Все материалы внешних поверхностей, используемые при изготовлении АКА и его СЧ, в том числе БА и БО, должны соответствовать требованиям по поверхностному и объемному удельным сопротивлениям:

- объемное удельное сопротивление — не более $1 \cdot 10^9$ Ом · м;
- поверхностное удельное сопротивление — не более $1 \cdot 10^8$ Ом.

Примечание — Данное требование не относится к лакокрасочным покрытиям, используемым для маркировки деталей.

В технически обоснованных случаях допускается применять материалы с большими значениями объемного и поверхностного удельных сопротивлений с учетом отработки данных материалов либо их аналогов на электризуемость в условиях воздействия факторов космического пространства, вызывающих электризацию. На базе данных испытаний осуществляют выбор материалов с наименьшим потенциалом поверхности, минимальной средней амплитудой напряжения разрядного импульса и частотой разрядов, а также наиболее устойчивых к деградации своих характеристик.

Материалы внешних поверхностей АКА и его СЧ с целью обеспечения стойкости к воздействию факторов электризации рекомендуется выбирать по алгоритму, приведенному в приложении Г.

7.3.3 Основной характеристикой экранирующего материала БКС является передаточный импеданс. Эффективность экранирования кабеля зависит от нагрузок принимающей линии и не является собственной характеристикой материала.

Передаточный импеданс экранирующих материалов, отражающий эффективность их экранирования, описывается совокупностью физических явлений, зависящих от параметров и конструктивного исполнения экрана, на основании которых можно провести аналитическую оценку эффективности экранирования того или иного предлагаемого к применению материала.

Материалы внешних экранов БКС АКА должны иметь эффективность экранирования вне НГПО АКА — не менее 40 дБ, внутри НГПО АКА — не менее 35 дБ на частоте помехонесущего поля 30 МГц.

Примечание — Допускается применение экранирующих плетенок и материалов с коэффициентом экранирования менее указанного в случае обеспечения стойкости БА при этом. Также допускается не экранировать кабели внутри отсеков АКА в случае, если электризация кабелей и БА внутри отсека исключена с учетом конструкции отсеков.

При применении экранирующих материалов в БКС АКА внешний экран должен обеспечивать эффективность экранирования в соответствии с требованиями настоящего подраздела. При отсутствии в документах на поставку материала (ТУ и стандарты), планируемого быть использованным как экранирующий материал, данных об эффективности экранирования от электромагнитных полей должны быть проведены испытания по определению этих характеристик.

7.4 Этап выпуска документации в обеспечение стойкости автоматического космического аппарата и его составных частей к воздействию факторов электризации

7.4.1 Мероприятия по обеспечению стойкости АКА и его СЧ, в том числе БА и БО, к воздействию факторов электризации проводят в соответствии с ПОН, ПОСТ и КПЭО (ПНЭО). В соответствии с

ГОСТ Р 56529 допускается отражать данные мероприятия в ПОЭМС (для АКА научного и социально-экономического назначения). ПОЭМС разрабатывают по ГОСТ Р 56531.

7.4.2 К документации по обеспечению стойкости к воздействию факторов электризации относятся:

- ПОЭМС (при необходимости), ПОН, ПОСТ и КПЭО (ПНЭО) АКА и его СЧ;
- отчет по РЭО стойкости АКА и его СЧ, в том числе БА и БО, к воздействию факторов электризации;
- ПМИ АКА и его СЧ, в том числе БА и БО, на воздействие ЭСР[1)];
- ПМИ СЧ АКА на воздействие магнитосферной плазмы (необходимость определяется результатами РЭО);
- отчеты/протоколы по испытаниям АКА и его СЧ, в том числе БА и БО[2)];
- книга итогового отчета о готовности АКА к ЛИ либо ее аналог.

7.4.3 На этапах эскизного проекта, аванпроекта (технического предложения) разрабатывают книгу, в которой должны быть изложены: анализ воздействующих факторов космического пространства и техногенных факторов, методология, методы и средства защиты, обеспечения и подтверждения стойкости АКА к указанным факторам в процессе разработки, НЭО и ЛИ, представлена предварительная РЭО стойкости АКА и его СЧ, в том числе БА и БО, предложены организационно-технические мероприятия, реализация которых позволит гарантировать и подтверждать надежное функционирование АКА и его СЧ, в том числе БА и БО, во время ЛИ в течение заданного САС на целевой орбите.

7.4.4 Контроль мероприятий, содержащихся в ПОЭМС, ПОН, КПЭО (ПНЭО) и ПОСТ АКА и его СЧ, в том числе БА и БО, в части обеспечения стойкости к воздействию факторов электризации осуществляют в соответствии с порядком, установленным в организации. Контроль заключается во внесении отметок о выполнении мероприятий в соответствующие разделы ПОЭМС, ПОН, КПЭО (ПНЭО) и ПОСТ в конце этапов РКД и НЭО.

7.4.5 РЭО стойкости АКА и его СЧ к воздействию факторов электризации проводят разработчики АКА и СЧ соответственно, на этапе РКД (PDR) и корректируют после завершения этапа НЭО (CDR) (при необходимости).

7.4.6 РЭО стойкости АКА и его СЧ проводят с целью выявления соответствия требованиям, предъявляемым в ТЗ и действующей нормативной и технической документации, мероприятиям, реализованным в КД. В рамках РЭО проводят анализ примененных материалов, достаточность экранирования и металлизации, способ реализации электрических интерфейсов, расчеты внутренней электризации (при наличии требований в ТЗ), а также приводят рекомендации и мероприятия по корректирующим мерам в случае несоответствия требованиям.

Для повышения точности результатов РЭО рекомендуется использовать численные методы анализа, САПР, а также специализированное ПО и цифровые модели.

7.4.6.1 Анализ (результаты РЭО) стойкости АКА должен содержать следующие разделы:

1) требования стойкости с уровнями воздействия факторов электризации, предъявляемые к АКА;
2) методология обеспечения стойкости АКА и его СЧ к воздействию факторов электризации;
3) порядок подтверждения стойкости АКА и его СЧ к воздействию факторов электризации;
4) РЭО стойкости АКА и ссылки на документацию, подтверждающую стойкость СЧ АКА.

7.4.6.2 РЭО стойкости СЧ АКА, в том числе БА и БО, должна иметь следующую структуру:

1) требования стойкости с уровнями воздействия факторов электризации, предъявляемые к СЧ АКА, в том числе БА и БО;
2) анализ конструктивного исполнения СЧ АКА, в том числе БА и БО;
3) РЭО стойкости СЧ АКА, в том числе БА и БО, к воздействию магнитосферной плазмы и поверхностных ЭСР;
4) РЭО стойкости СЧ АКА, в том числе БА и БО, к воздействию высокоэнергетичных электронов (если данное требование предъявляется в соответствующем ТЗ, спецификации, контракте и т.п.);

[1)] ПМИ СЧ АКА, в том числе БА, БО, допускается разрабатывать в качестве отдельного раздела или приложения в ПМИ верхнего уровня либо в качестве отдельных документов.

ПМИ испытаний СЧ АКА, в том числе БА и БО, должны быть согласованы с предприятием — разработчиком АКА.

[2)] Отчеты/протоколы по результатам испытаний СЧ АКА, в том числе БА и БО, должны быть согласованы с предприятием — разработчиком АКА.

5) РЭО стойкости БА к воздействию наведенных высокочастотных импульсов во входных-выходных цепях (если данное требование предъявляется в соответствующих ТЗ, спецификации, контракте и т.п.);

6) выводы и заключения по результатам проведенной РЭО, включая определение необходимости проведения испытаний СЧ АКА, в том числе БА и БО, на стойкость к воздействию факторов электризации.

7.4.7 Завершающим этапом работ по обеспечению стойкости к воздействию факторов электризации является выпуск книги итогового отчета о готовности АКА к ЛИ либо ее аналога, в которой дано заключение о стойкости АКА и его СЧ, в том числе БА и БО, приведены сведения о результатах проведенных работ по данному направлению в рамках создания АКА и дано заключение о допуске АКА к ЛИ.

Для БА и БО итоговыми отчетными документами являются отчеты по РЭО (анализы), отчеты о стойкости к ФКП, отчеты по испытаниям. В окончательных редакциях данных документов должен быть сделан однозначный вывод о стойкости БА и БО к воздействию факторов электризации в соответствии с предъявленными требованиями.

7.5 Этап проведения наземной экспериментальной отработки автоматического космического аппарата и его составных частей на стойкость к воздействию факторов электризации

7.5.1 Испытания на стойкость к воздействию ЭСР являются обязательным этапом НЭО АКА и его СЧ, в том числе БА и БО. Данные испытания проводят по ПМИ в соответствии с требованиями ПОСТ, ПОЭМС, ПОН, КПЭО (ПНЭО) АКА и его СЧ, в том числе БА и БО, и требованиями настоящего стандарта.

7.5.2 Метрологическое обеспечение испытаний следует осуществлять в соответствии с действующими нормативными документами государственной системы обеспечения единства измерений.

Результаты измерений в ходе испытаний необходимо выражать в узаконенных единицах величин в соответствии с ГОСТ 8.417 и представлять с указанием значений характеристик погрешности измерений в соответствии с [2]. Испытательное оборудование должно быть аттестовано.

7.5.3 На этапе НЭО проводят следующие работы и испытания:

1) испытания композитных и диэлектрических материалов, покрытий и конструкций на их основе в условиях имитации воздействия магнитосферной плазмы (потока электронов и других факторов, влияющих на электризацию материалов). Необходимость определяют результатами РЭО.

При данных испытаниях проводится квалификация конструкционных диэлектрических материалов и покрытий в условиях имитации воздействия магнитосферной плазмы. При испытаниях проводятся измерения характеристик зарядно-разрядных процессов в материалах и покрытиях.

При данных испытаниях должны быть определены характеристики зарядно-разрядных процессов в конструкции БО, параметры наводимых высокочастотных помеховых импульсов, приходящих на входные-выходные цепи БА. По результатам данных испытаний на основе параметров высокочастотных помеховых импульсов проводится РЭО помехоустойчивости БА. При необходимости проводят работы по разработке и введению необходимых методов и средств защиты.

Испытания композитных и диэлектрических материалов, покрытий и конструкций на их основе в условиях имитации воздействия магнитосферной плазмы проводят в испытательных центрах (испытательных лабораториях), аккредитованных в заданной области деятельности и имеющих лицензию на осуществление космической деятельности.

При лабораторных испытаниях материалов на воздействие факторов электризации рекомендуется использовать моноэнергетические пучки электронов с энергией от 30 до 100 кэВ и плотностью тока до 1 нА/см^2 для имитации условий ВЭО, ГСО и круговых орбит, обусловленных ионизацией. Согласно [3], [4] для имитации условий воздействия факторов электризации в авроральных зонах допускается увеличение плотности тока до 10 нА/см^2, при энергии электронов до 50 кэВ, на короткие периоды времени в соответствии с временными интервалами нахождения АКА в данной области космического пространства (как правило, не более 10 мин);

2) в случае применения экранирующих материалов в БКС АКА без данных по эффективности экранирования в документации на поставку материала (ТУ и стандарты) на экранирующий материал проводят испытания с целью определения эффективности экранирования при воздействии электромагнитных полей. Испытания экранирующих материалов проводят в испытательных центрах (испытательных лабораториях), аккредитованных в заданной области деятельности и имеющих лицензию на осуществление космической деятельности;

3) автономные испытания СЧ АКА, в том числе БА и БО, на стойкость к воздействию ЭСР.

Испытания БА и БО на стойкость к воздействию ЭСР предназначены для подтверждения стойкости к воздействию факторов электризации, эффективности средств защиты, выбранных при проектировании, разработке и изготовлении.

Разработчики СЧ АКА, в том числе БА и БО, проводят испытания на стойкость к воздействию ЭСР по специализированным ПМИ. Типовая методика испытаний БА и БО приведена в приложении Д.

Кабели, используемые при автономных испытаниях БА и БО на ЭСР, должны по конструктивной защите от электромагнитных помех соответствовать кабелям штатной БКС АКА.

При необходимости разработчик разрабатывает и внедряет необходимые методы и средства защиты.

Испытания СЧ АКА, в том числе БА и БО, на стойкость к воздействию ЭСР могут быть проведены в испытательных центрах (испытательных лабораториях), аккредитованных в заданной области деятельности и имеющих лицензию на осуществление космической деятельности.

Испытания СЧ АКА, БА и БО выполняют путем прямого и косвенного (непрямого) ЭСР. Испытания проводят с использованием генераторов, создающих требуемые уровни напряжения ЭСР, подключаемых через разрядные цепи (с заданными номиналами емкостей и сопротивлений). Генератор подключают к указанным в ПМИ местам (точкам) на внешней поверхности испытываемой аппаратуры;

4) завершающим этапом, подтверждающим эффективность принятых мер, являются испытания АКА на стойкость к воздействию ЭСР на этапе комплексных электрических (электрорадиотехнических) испытаний. Проводят контроль правильности проектирования и изготовления БКС АКА и бортовых служебных систем АКА. Испытания АКА на ЭСР рекомендуется осуществлять непрямым (косвенным) воздействием на БА, БО, БКС АКА путем воздействия электромагнитным полем от искрового разряда на расстоянии от 0,03 м до поверхности АКА. В процессе проведения испытаний выполняется автоматизированная оценка работоспособности БА и БО. Места воздействия на АКА уточняются на этапе выпуска ПМИ. В случае аномального функционирования какой-либо СЧ АКА (БА, БО) испытания прекращают и проводят анализ, устранение причин аномалии и повтор испытаний.

Приложение А
(рекомендуемое)

Требования по стойкости к воздействию поверхностной и внутренней электризации

А.1 АКА и его СЧ, в том числе БА и БО, в пределах САС должны функционировать в условиях воздействия следующих факторов электризации:

- магнитосферная плазма;
- высокоэнергетичные электроны;
- потоки электронов и ионов естественного и техногенного происхождения.

Следствием воздействия факторов электризации является возникновение поверхностных и внутренних ЭСР и наведенных высокочастотных помеховых импульсов во входных-выходных цепях БА от воздействия ЭСР. Перечень воздействующих факторов электризации определяют в соответствии с типом и параметрами орбиты эксплуатации АКА.

А.2 АКА и его СЧ, в том числе БА и БО, должны сохранять свои характеристики при воздействии потоков магнитосферной плазмы и заряженных частиц естественного и техногенного происхождения, которые являются внешним условием для возникновения поверхностных ЭСР со следующими параметрами, соответствующими «худшему случаю» на ГСО:

- концентрация электронов . . . . . $1{,}12 \cdot 10^6$ $м^{-3}$;
- средняя энергия электронов . . . . . $1{,}2 \cdot 10^4$ эВ;
- концентрация ионов . . . . . $0{,}236 \cdot 10^6$ $м^{-3}$;
- средняя энергия ионов . . . . . $2{,}95 \cdot 10^4$ эВ.

А.3 АКА и его СЧ, в том числе БА и БО, должны сохранять работоспособность при воздействии поверхностных ЭСР, являющихся следствием взаимодействия магнитосферной плазмы с конструкционными материалами, со следующими характеристиками, не превышающими:

- напряжение разрядного импульса . . . . . 20 кВ;
- ток в разрядном импульсе . . . . . 100 А;
- длительность импульса тока на уровне 0,5 амплитудного значения разрядного импульса . . . . . от $2 \cdot 10^{-8}$ до $1 \cdot 10^{-6}$ с;
- длительность фронта импульса тока на уровне 0,1—0,9 амплитудного значения . . . . . от $1 \cdot 10^{-9}$ до $1 \cdot 10^{-7}$ с;
- энергия в разрядном импульсе . . . . . 0,2 Дж;
- частота разрядов . . . . . 1, 10 или 50 Гц.

А.4 БА и БО, имеющие в своем составе приборные корпуса, изделия ЭКБ и печатные платы, должны сохранять работоспособность при воздействии на поверхность АКА высокоэнергетичных электронов с характеристиками, приведенными в таблице А.1.

Таблица А.1 — Характеристики высокоэнергетичных электронов

Уровень энергии Е, МэВ	Плотность потока, $см^{-2} \cdot с^{-1} \cdot ср^{-1}$
0,225	$6{,}5 \cdot 10^6$
0,315	$4{,}2 \cdot 10^6$
0,500	$2{,}2 \cdot 10^6$
0,750	$9{,}9 \cdot 10^5$
1,100	$4{,}6 \cdot 10^5$
1,500	$2{,}0 \cdot 10^5$
1,800	$1{,}1 \cdot 10^5$
3,500	$6{,}5 \cdot 10^3$

Результатом воздействия высокоэнергетичных электронов является возникновение внутри приборных корпусов БА внутренних ЭСР. При этом плотность тока на поверхности элементов БА за конструктивной защитой должна быть не более 0,1 $пА/см^2$.

А.5 БА, имеющая электрические связи с поверхностями, контактирующими с магнитосферной плазмой, на которых возможно возникновение зарядно-разрядных процессов, должна сохранять работоспособность при воздействии наведенных высокочастотных помеховых импульсов во входных-выходных цепях БА.

Параметры наведенных высокочастотных помеховых импульсов во входных-выходных цепях БА должны определяться на этапе НЭО на основе проведения испытаний БО или материалов, контактирующих с магнитосферной плазмой, на воздействие условий электризации (поверхностных ЭСР, магнитосферной плазмы, высокоэнергетичных электронов).

Приложение Б
(справочное)

Пример расчетно-экспериментальной оценки стойкости бортовой аппаратуры к воздействию высокоэнергетичных электронов

Величина защиты БА внутри НГПО АКА (за конструктивной защитой сотовой панелью) соответствует эквивалентной защите, равной 0,25 г/см^2. Наименьшая защита стенкой БА обеспечивается со стороны +X. Стенка БА выполнена из плиты АМг6 и имеет толщину 1 мм, что соответствует эквивалентной защите, равной 0,27 г/см^2. Печатная плата выполнена из стеклотекстолита и имеет толщину 1 мм, что соответствует эквивалентной защите, равной 0,19 г/см^2.

С помощью рисунка Б.1 определяется величина энергии проникновения электронов через конструктивную защиту согласно [3].

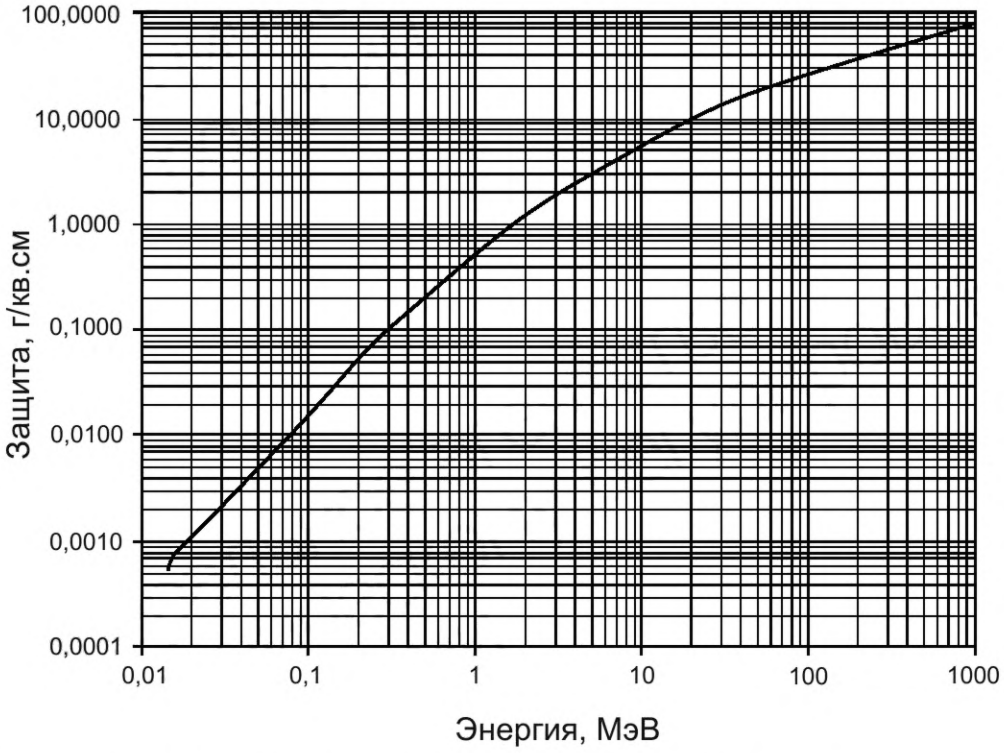


Рисунок Б.1 — Зависимость энергии проникновения электронов от эквивалентной защиты конструкцией АКА

В таблице Б.1 приведены значения, необходимые для расчета плотности тока, осажденного в печатной плате БА, согласно [3].

Таблица Б.1 — Расчет плотности выходящего интегрального потока из печатной платы за конструктивной защитой плиты АМг6 и сотовой панели

Величина защиты	Энергия проникновения *E*, МэВ	Плотность выходящего интегрального потока *Flux*, см$^{-2}$ · с$^{-1}$ · ср$^{-1}$
Сотовая панель и плита АМг6 (0,25 + 0,27 = 0,52 г/см^2)	0,97	$6{,}1 \cdot 10^5$
Сотовая панель, плита АМг6 и печатная плата, выполненная из стеклотекстолита, толщиной 1 мм (0,52 + 0,19 = 0,71 г/см^2)	1,25	$3{,}23 \cdot 10^5$

Полную плотность потока электронов *j1*, см$^{-2}$ · с$^{-1}$, осажденного в плате, при переводе в нормальный угол падения (умножение на) рассчитывают по формуле

$$j1 = (Flux_1 - Flux_2) \cdot 3{,}14, \qquad (Б.1)$$

где $Flux_1$ — плотность выходящего интегрального потока из сотовой панели и плиты АМг6, $см^{-2} \cdot с^{-1} \cdot ср^{-1}$;

$Flux_2$ — плотность выходящего интегрального потока из сотовой панели, плиты АМг6 и печатной платы БА, $см^{-2} \cdot с^{-1} \cdot ср^{-1}$.

Согласно формуле (Б.1) $j1 = 8{,}61 \cdot 10^5$ $см^{-2} \cdot с^{-1}$.

Ток I, $пА/см^2$, протекающий в печатной плате БА, рассчитывают по формуле

$$I = e \cdot j1, \qquad (Б.2)$$

где e — заряд электрона, А/с.

Согласно формуле (Б.2), $I = 0{,}1379$ $пА/см^2$.

Воздействие высокоэнергетичных электронов превышает допустимый уровень 0,1 $пА/см^2$. По этой причине рекомендовано введение дополнительной конструктивной защиты.

В данном случае необходимо, чтобы защита внутренних элементов (печатных плат) БА со стороны НГПО АКА и корпуса БА составляла не менее 0,655 $г/см^2$.

Приложение В
(справочное)

Результаты экспериментальных исследований, полученных для различных комбинаций напряжения и силы тока

Результаты экспериментальных исследований (более подробно представлены в [4]) для различных комбинаций силы тока и напряжения на БС (при зазоре между элементами ячеек $9 \cdot 10^{-4}$ м) и их влияния на процессы дугообразования отображены в таблице В.1.

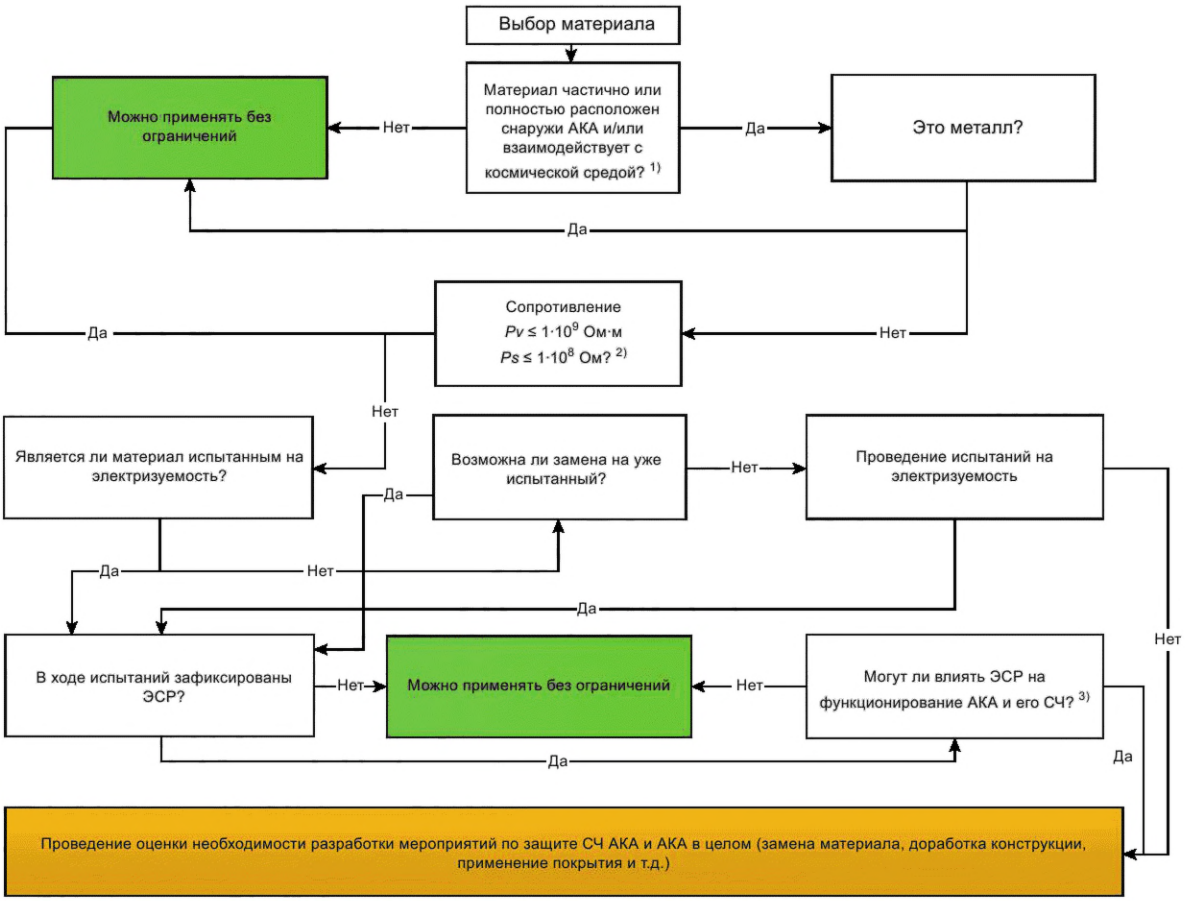
Таблица В.1 — Результаты экспериментальных исследований для различных комбинаций силы тока и напряжения на БС и их влияния на процессы дугообразования

Напряжение, В	Сила тока, А	Примечания
70	0,6	Устойчивых вторичных дуг не наблюдалось
50	1,5	Устойчивых вторичных дуг не наблюдалось
30	2,0	Устойчивых вторичных дуг не наблюдалось
10	Требований нет	Напряжение слишком низкое, чтобы могли образоваться какие-либо дуги между электродами

Приложение Г
(рекомендуемое)

Алгоритм выбора материалов внешних поверхностей с точки зрения обеспечения стойкости к воздействию факторов электризации

Выбор материалов для внешних поверхностей АКА проводят в соответствии с алгоритмом выбора материалов, приведенным на рисунке Г.1.



---

1) Без учета ЭВТИ АКА.

2) Данные по значениям электрических сопротивлений материалов берут из документов на поставку материалов (ТУ и стандарты). В случае отсутствия данных о значении электрического сопротивления данные могу быть получены экспериментальным путем (при необходимости) в соответствии с ГОСТ Р 59323.

3) Определяют подразделения, ответственные за обеспечение стойкости БА, БО и АКА в целом к воздействию проникающей радиации и электромагнитного излучения.

Рисунок Г.1

Приложение Д
(рекомендуемое)

Типовая методика испытаний бортовой аппаратуры и бортового оборудования на стойкость к воздействию электростатических разрядов

Д.1 Испытания СЧ АКА, в том числе БА и БО, проводят на отработочном образце, аналогичном летному, на этапе НЭО. СЧ АКА, в том числе БА и БО, устанавливают на прокладку из диэлектрического материала толщиной не менее 0,5 ± 0,05 мм, расположенную на пластине заземления. БА и БО АКА и пластина заземления должны быть заземлены по ГОСТ 19005. Испытательное оборудование для генерации электростатического разряда (генератор) должно быть аттестовано и обеспечивать параметры ЭСР, указанные в А.3.

Расстояние между испытуемым образцом и стенами помещения, а также любыми металлическими предметами должно быть не менее 0,8 м. На полу должна быть установлена пластина (плоскость) заземления — металлический лист (медный или алюминиевый) толщиной не менее 0,25 мм. Допускается использовать другие материалы, при этом толщина листа должна быть не менее 0,65 мм.

Пластина заземления должна выступать за контур испытуемого образца или горизонтальной пластины связи (если таковая имеется) с каждой стороны не менее чем на 0,5 м и должна быть соединена с системой защитного заземления.

Рабочее место для испытаний представляет собой стол из непроводящего материала высотой 0,8 м, установленный на пластину заземления. В случае использования пластин связи на столе должна быть размещена горизонтальная пластина (плоскость) связи размерами 1,6—0,8 м. Испытуемый образец и кабели должны быть изолированы от пластины связи прокладкой из диэлектрического материала толщиной не менее 0,5 мм. Испытуемый образец должен быть расположен на расстоянии не менее 0,1 м от всех сторон горизонтальной пластины связи.

Объект испытаний должен быть изолирован от пластины заземления изолирующей пластиной толщиной 0,05—0,15 м. Кабели испытуемого объекта должны быть изолированы от пластины заземления изоляционной подставкой толщиной не менее 0,5 мм.

Д.2 С целью минимизации воздействия ЭСР на КПА испытываемые СЧ АКА, БА и БО должны быть расположены на расстоянии не менее 5 м друг от друга. Средства измерений и СЧ АКА, БА и БО должны соединяться экранированными кабелями. Внешний экран кабелей, используемых при испытаниях, должен соответствовать внешнему экрану штатной БКС АКА по эффективности экранирования (допускается экранирование фольгой толщиной не менее 0,1 мм). Технологические соединители должны быть закрыты металлическими крышками или заглушками.

Д.3 Методика испытаний зависит от выбора испытательного оборудования. Допускается использовать описанные ниже методики.

Д.3.1 Воздействие ЭСР при автономных испытаниях СЧ АКА, в том числе БА и БО, допускается имитировать следующими факторами:

а) ЭМИ плазменного канала ЭСР, что соответствует наиболее слабому уровню воздействия, которое имитирует влияние на СЧ АКА, в том числе БА и БО, электромагнитных полей, создаваемых разрядом без непосредственной инжекции токов на конструкцию. Проверку работоспособности СЧ АКА, в том числе БА и БО, при воздействии ЭМИ проводят с постепенным приближением воздушного искрового разрядника к месту воздействия от 0,30 до 0,03 м. Схема испытаний приведена на рисунке Д.1.

Допускается устанавливать воздушный искровой разрядник сразу на расстоянии 0,03 м от БА (БО) и ступенчато (от минимального возможного для воздушного разрядника до максимального 20 кВ) повышать напряжение на генераторе ЭСР при проведении испытаний. В случае сбоя в работоспособности БА (БО) испытания необходимо остановить до принятия решения по дальнейшим работам;

б) емкостной наводкой, возникающей в электрических цепях СЧ АКА, в том числе БА и БО, при измерениях потенциалов поверхностей, происходящих при переносе наконечного заряда с одних участков поверхности на другие. Проверку работоспособности СЧ АКА, в том числе БА и БО, при воздействии емкостной наводки проводят путем перемещения емкостной антенны с постепенным приближением к месту воздействия от 0,30 до 0,03 м. Схема испытаний показана на рисунке Д.2.

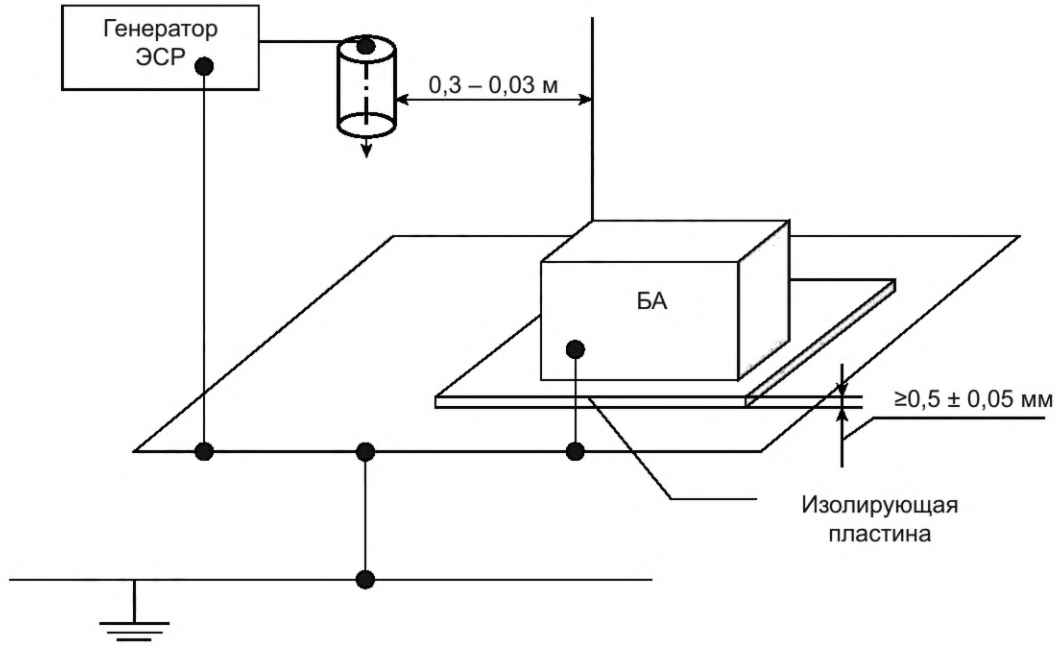


Рисунок Д.1

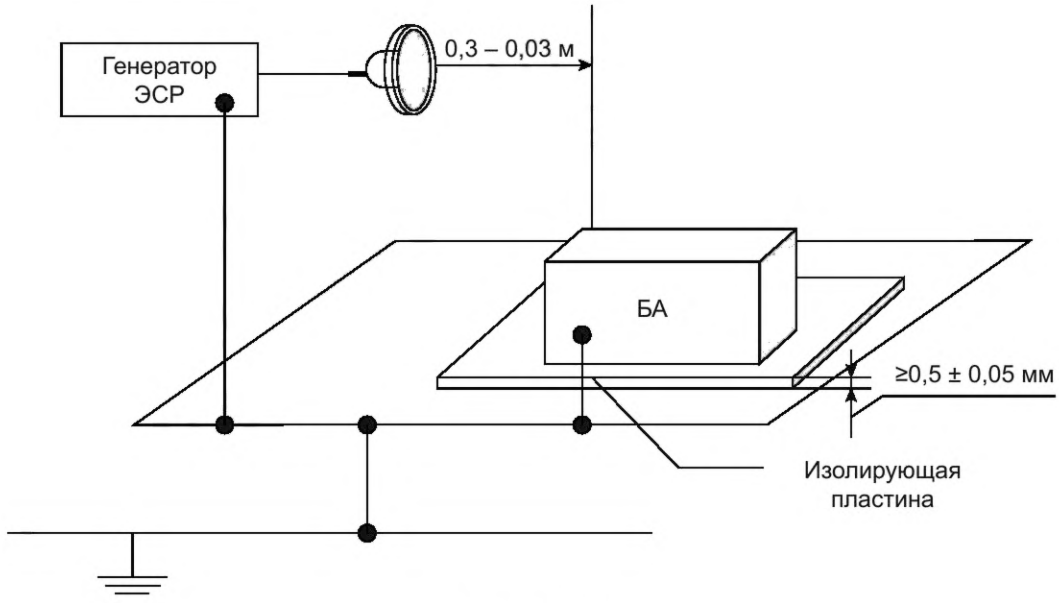


Рисунок Д.2

Допускается устанавливать емкостную антенну сразу на расстоянии 0,03 м от БА (БО) и ступенчато (от минимального 2 кВ до максимального 20 кВ) повышать напряжение на генераторе ЭСР при проведении испытаний. Допускается использовать непрямое воздействие ЭСР на вертикальную (размеры 0,5 х 0,5 м), горизонтальную пластину (соответствующую размерам стола) связи в соответствии с ГОСТ 30804.4.2 и ГОСТ Р 56515. В случае сбоя в работоспособности БА (БО) испытания необходимо остановить до принятия решения по дальнейшим работам;

в) ЭСР на СЧ АКА, в том числе БА, корпуса и элементы конструкции БО. Прямой инжекцией тока в каждом месте (точке) воздействия. Схема испытаний приведена на рисунке Д.3.

Инжекция тока может быть как с образованием искры, так и без искры, т.е. контактным наконечником. Выбор способа зависит от возможности образования разряда на поверхности БА (БО), т.е. от ее расположения снаружи или внутри АКА.

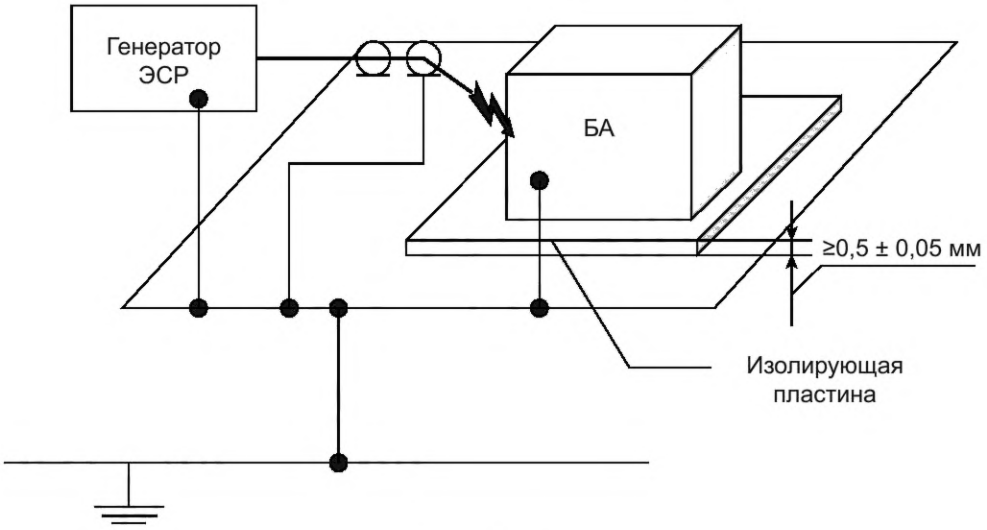


Рисунок Д.3

Д.3.2 Согласно ГОСТ Р 56529 испытания СЧ АКА, в том числе БА и БО, проводят по следующему принципу:

а) прямым воздействием ЭСР на СЧ АКА, в том числе БА и БО. Может осуществляться контактным способом или через воздушный разрядный промежуток. Применение контактного разряда рекомендуется для осуществления ЭСР на металлические элементы конструкции СЧ АКА, в том числе БА и БО (корпуса, элементы управления, оплетки кабелей, проводов и др.).

ЭСР на СЧ АКА, в том числе БА и БО, через воздушный разрядный промежуток осуществляют путем повышения напряжения генератора (при постоянной длине воздушного разрядного промежутка) до уровня, при котором происходит разряд.

Допускается производить ЭСР через воздушный разрядный промежуток путем медленного уменьшения длины воздушного промежутка (при постоянном уровне напряжения генератора) до момента возникновения разряда, после которого разрядный наконечник удаляется от испытываемых СЧ АКА, в том числе БА и БО;

б) непрямым (косвенным) воздействием ЭСР на СЧ АКА, в том числе БА и БО. Осуществляется путем контактного разряда на заземленный провод, пластину, размещенные вблизи корпуса испытываемых СЧ АКА, в том числе БА и БО, являющиеся в этом случае излучателями электрического и магнитного полей. Данный способ может быть использован:

- для воспроизведения электрических и магнитных полей, моделирующих ЭМП ЭСР, воздействующих на СЧ АКА, в том числе БА и БО в пластмассовых корпусах, а также полей, возникающих при ЭСР в диэлектрических материалах корпусов, устройств СЧ АКА, в том числе БА и БО;

- для моделирования воздействия на СЧ АКА, в том числе БА и БО, полей ЭСР, возникающих на объектах, расположенных в непосредственной близости от испытуемых СЧ АКА, в том числе БА и БО.

При испытаниях СЧ АКА, в том числе БА и БО, размещают на изолированной с необходимой электрической прочностью подставке, установленной на плоскости заземления. Плоскость заземления должна быть соединена с корпусом испытываемых СЧ АКА, в том числе БА и БО, и шиной защитного заземления, к которой подключают обратный токопровод разрядной установки (генератора).

Д.4 Точки воздействия должны включать: соединители, клемму металлизации (заземления), различные стенки, элементы корпуса и элементы конструкции. При любом способе воздействия ЭСР на выбранное место (точку) СЧ АКА, в том числе БА и БО, подают не менее десяти одиночных импульсов ЭСР с полярностью, соответствующей наибольшей восприимчивости испытуемого образца, при каждом выбранном режиме работы БА и БО, если иное не задано в требованиях ТЗ (ТТЗ) и не указано в ПМИ.

Д.5 Критерием успешности проверок на стойкость к воздействию ЭСР является отсутствие нарушений работоспособности во время воздействия. Контролируемые параметры определяет разработчик.

В случае обнаружения сбоев в работе (отказов) СЧ АКА, в том числе БА и БО, при или после воздействия ЭСР испытания прекращают. Разработчик БА и БО принимает решение и проводит анализ сбоя, выполняет мероприятия по его устранению. Возможность продолжения испытаний определяет разработчик БА и БО.

Д.6 По результатам испытаний разработчик СЧ АКА, в том числе БА и БО, выпускает отчет или протокол по испытаниям, который должен содержать выводы о стойкости объекта испытаний и быть согласован в соответствии с порядком, установленным в организации.

Библиография

[1] Воздействие космической среды на материалы и оборудование космических аппаратов. — Т.2. — В кн: Модель космоса: Научно-информационное издание / Под ред. М.И. Панасюка, Л.С. Новикова. — М.: КДУ, 2007. — 1144 с.

[2] МИ 1317—2004 Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Результаты и характеристики погрешности измерений. Формы представления. Способы использования при испытаниях образцов продукции и контроле их параметров

[3] NASA-HDBK-4002B Снижение влияния факторов электризации в космическом пространстве. Руководящий документ. — С. 209

[4] ECSS-E-ST-20-06C Rev.1 Космическое проектирование. Электризация космических аппаратов. — С. 120

УДК 629.78:006.354 ОКС 49.020

Ключевые слова: стойкость, автоматический космический аппарат, факторы электризации, электростатический разряд, магнитосферная плазма, высокоэнергетичные электроны, вторичные дуговые разряды, высокочастотные помеховые импульсы, электризация, дифференциальная зарядка, объемная зарядка, поверхностная электризация, внутренняя электризация

Редактор *Н.А. Аргунова*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *М.И. Першина*
Компьютерная верстка *И.А. Налейкиной*

Сдано в набор 29.05.2025. Подписано в печать 06.06.2025. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 3,26. Уч.-изд. л. 2,64.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «Институт стандартизации»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.

gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru