

Оценка стойкости технических средств космических систем и комплексов к воздействию электростатических разрядов

А.Н. Дементьев¹, М.В. Аралкин², Е.Э. Кривобоков²

¹ ФГУП «НПО «Техномаш»
127018, Россия, г. Москва,
3-й проезд Марьиной Роши, 40
² АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева»
121309, Россия, г. Москва,
ул. Новозаводская, 18

Аннотация – С целью дальнейшего совершенствования методов защиты бортовой аппаратуры космического аппарата от воздействия электростатических разрядов на основе всестороннего изучения проблемы возникновения электростатических разрядов авторами проведены изложенные в настоящей статье исследования по анализу функционирования бортовой аппаратуры космического аппарата при воздействии электростатических разрядов. В ходе работы проведено уточнение методологии оценки стойкости бортовой аппаратуры космического аппарата к воздействию электростатических разрядов на основе обобщения расчетно-аналитических работ. Анализ стойкости бортовой аппаратуры космического аппарата проведен с учетом основных механизмов воздействия электростатических разрядов на бортовую космическую сеть. С учетом необходимости проведения оценки стойкости бортовой аппаратуры бортовой космической сети к электростатическим разрядам вне реальных условий эксплуатации оценка стойкости бортовой аппаратуры бортовой космической сети проводится авторами на основе математического и физического моделирования. В результате исследования разработан алгоритм оценки стойкости бортовой аппаратуры космического аппарата к воздействию электростатических разрядов, подробно описанный в настоящей статье.

Ключевые слова – электростатический разряд; бортовая аппаратура; космический аппарат; бортовая кабельная сеть; антенное устройство.

Введение

Постановка проблемы. С начала освоения космического пространства и до настоящего времени стоит задача по выполнению оценки стойкости бортовой аппаратуры (БА) космических аппаратов (КА) к воздействию электростатических разрядов (ЭСР). На момент написания статьи авторами продолжаются исследования по анализу влияния ЭСР на БА КА [1–27]. В работах [6–8] представлены основные направления по исследованию причин возникновения, влияния и защиты БА КА от воздействия электромагнитного поля Земли (ЭМП) и авроральной радиации (АР). Можно ожидать, что по мере развития ракетно-космической техники (РКТ) и технологии, освоения новых рабочих орбит и создания КА новых типов значимость проблемы защиты от электростатического воздействия будет возрастать. Это связано с разработкой и внедрением перспективных конструкций КА, в которых могут возникать высокие электрические напряжения, вызывающие нарушение функционирования БА, в частности навигационных систем [4]. Это вызывает необходимость даль-

нейшего развития принципов и методов электростатической защиты БА КА.

Актуальность исследования заключается в необходимости дальнейшего совершенствования методов защиты БА КА от воздействия ЭСР на основе всестороннего изучения проблемы возникновения ЭСР.

Объект исследования – БА и бортовая кабельная сеть (БКС) КА.

Предметом исследования является анализ функционирования БА и БКС КА при воздействии ЭСР.

Научная новизна выполненных исследований заключается в разработке алгоритма оценки стойкости КА к воздействию ЭСР с учетом результатов испытаний.

Цель: уточнение методологии оценки стойкости БА КА к воздействию разрядов ЭСР на основе обобщения расчетно-аналитических работ.

Результаты. Разработан алгоритм оценки стойкости БА КА к воздействию ЭСР.

Практическая значимость. Практическая значимость проведенных исследований состоит в возможности оценки на основании расчетных и

экспериментальных данных стойкости БА КА к воздействию ЭСР.

Ход исследования

В соответствии с действующими нормативными документами для конкретных условий эксплуатации следует производить оценку этих параметров. Для каждого вида БА КА необходимо устанавливать требования к стойкости в соответствии с условиями эксплуатации БА, а именно – величины параметров ЭСР, вида электростатического разряда и т. д.

Таким образом, для подтверждения стойкости БА КА к воздействию ЭСР следует определить вид воздействующего разряда и его параметры (в соответствии с предполагаемыми условиями эксплуатации) с учетом особенностей конструкции КА.

С целью подтверждения стойкости КА к воздействию ЭСР с учетом конкретных условий эксплуатации и особенностей конструкции изделий необходимо провести:

- анализ результатов расчетов процессов поверхностной и внутренней электризации КА;
- анализ результатов расчетов уровней помех в БКС наведенных ЭСР;
- верификацию численных методов расчетов на основе физического моделирования.

Анализ стойкости БА КА необходимо проводить с учетом основных механизмов воздействия ЭСР на БКС, среди них:

- электромагнитное излучение, сопровождающее любой разряд;
- воздействие электромагнитного поля тока разряда, протекающего по элементам конструкции КА (кондуктивные помехи);
- воздействие электрического поля из-за разрядов, возникающих между диэлектрическими и проводящими элементами конструкции КА, а также между диэлектрическими элементами конструкции КА и БКС;
- непосредственное воздействие ЭСР на БКС.

С учетом необходимости проведения оценки стойкости БА БКС к ЭСР вне реальных условий эксплуатации оценка стойкости БА БКС проводится на основе математического и физического моделирования.

Математическое моделирование выполняется на этапе определения наведенных потенциалов в результате воздействия ЭСР в элементах конструкций и расчета параметров (по току, напряжению и времени действия) в БКС.

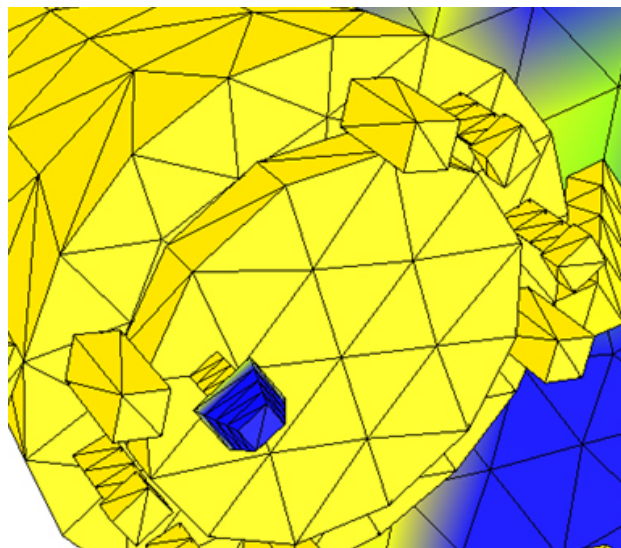


Рис. 1. Изображение фрагмента модели конструкции КА
Fig. 1. Image of a fragment of the spacecraft structure model

Физическое моделирование выполняется на этапе проверки БА при проверке отдельных электронных блоков и БКС при моделировании ЭСР на стенде с применением генератора электростатического разряда (ГЭР) и последующих контрольных испытаний всего КА или его отдельных укрупненных элементов.

Таким образом, на первом этапе выполняется математическое моделирование воздействия ЭСР на основе применения численных методов [4; 5]. При выполнении расчетов на основании существующих методов баллистики учитываются возможные участки орбиты КА с высоким уровнем электризации, к таким, как правило, относятся:

- зона бразильской аномалии;
- любой участок орбиты во время вспышек на Солнце;
- любой участок орбиты во время электромагнитных бурь.

Наиболее опасное воздействие на КА оказывает авроральная радиация (АР) [3]. Среди потоков частиц в магнитосфере Земли АР занимает промежуточное положение между потоками плазмы и захваченной радиацией. При поверхностной электризации наибольшую опасность представляет воздействие на изделие потока авроральных электронов (АВРЭ) с энергиями от 5 до 20 кэВ. Вероятность такого воздействия на изделие может достигать от 10 до 15 % в зависимости от уровня геомагнитной активности и конкретного значения наклона орбиты КА.

Внутренняя электризация КА при реальных толщинах используемой защиты обусловлена преимущественно электронами естественного

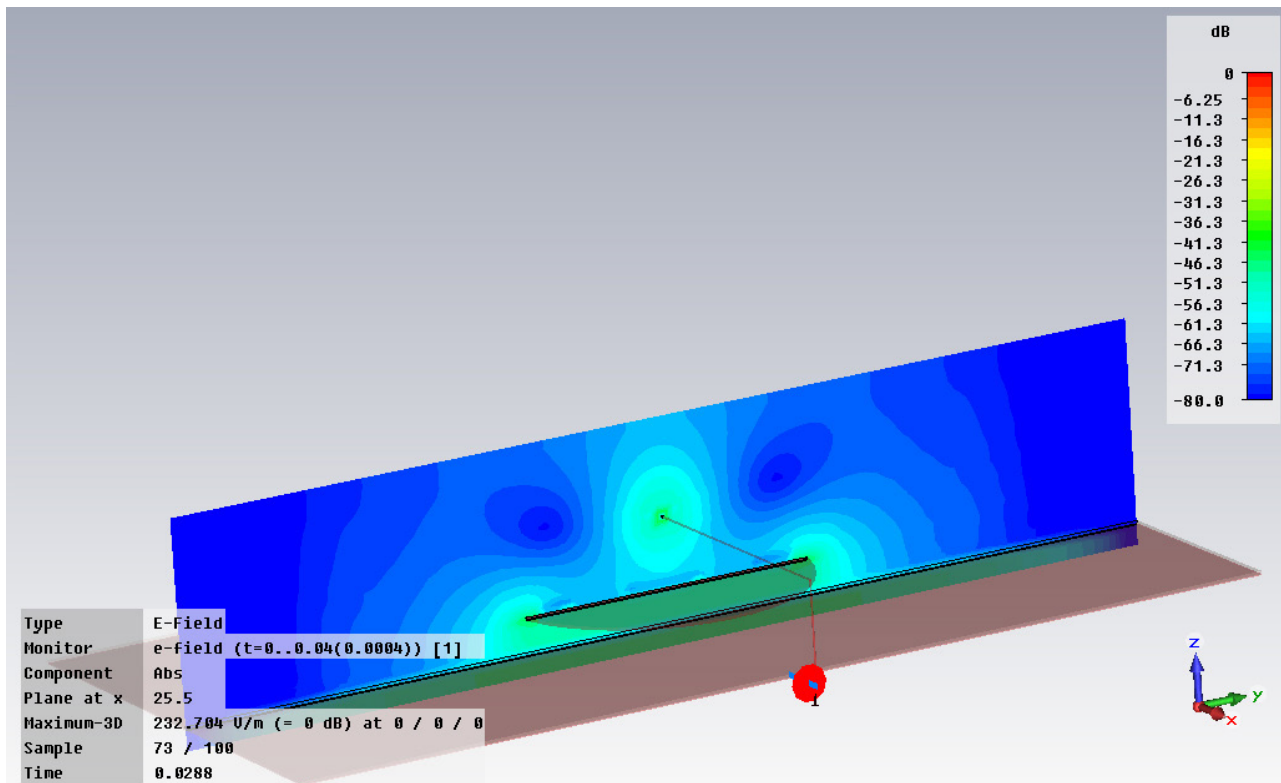


Рис. 2. Процесс проведения расчетно-аналитического моделирования помех от ЭСР
Fig. 2. Process of carrying out computational and analytical modeling of interference from ESD

радиационного пояса Земли (ЕРПЗ) с энергией $E > 2$ МэВ, воздействующими на КА в высокоширотных областях и в районе Южно-Атлантической магнитной аномалии. Расчет достаточности защиты БА КА от электризации и расчет потенциалов и напряженности поля проводятся при параметрах воздействия, характерных, для низкотемпературной космической плазмы, на основе методов электростатики.

С учетом вышеописанных особенностей проводится расчет распределения потенциалов на поверхности КА, определяются наиболее вероятные места возникновения ЭСР.

На рис. 1 показан участок фрагмента модели конструкции КА с нанесенной на его поверхность расчетной сеткой и показанными цветовым кодом расчетными значениями потенциалов на различных элементах поверхности. Учитывая особенности геометрических форм КА и применяемых базисных функций, результаты расчетов потенциалов на поверхностях КА носят случайный характер.

Оценка достоверности расчетов проводится на основе сравнения двух численных методов определения потенциалов на поверхностях конструкции КА с помощью базисных функций: в форме интерполяционного полинома Лагранжа и метода наименьших квадратов.

Сравнение двух методов расчета потенциалов выполняется на основе рандомизированного критерия F-распределения Фишера. На основании результатов сравнения делается вывод о принятии гипотезы о достоверности результатов численного моделирования.

Расчеты параметров помех, создаваемых ЭСР, отдельными линиями БКС проводятся на основе расчетно-аналитического моделирования. Процесс проведения моделирования показан на рис. 2.

Для подтверждения полученных расчетных значений уровней помех, возникающих от ЭСР, проводится экспериментальное подтверждение. Измерения осуществляются с помощью генератора электростатических разрядов (ГЭР). Графические зависимости (напряжения и тока от времени) помехового сигнала в линии БКС представлены на рис. 3 и 4. Результат воздействия ЭСР, созданного ГЭР, на линии БКС приведен на рис. 5.

На основании полученных данных проводится сравнение результатов физического и численного моделирования, которое необходимо для проверки достоверности результатов численного моделирования [11].

Проведение испытания БА КА является заключительным этапом получения данных для оценки стойкости БА КА к ЭСР. Испытание технически

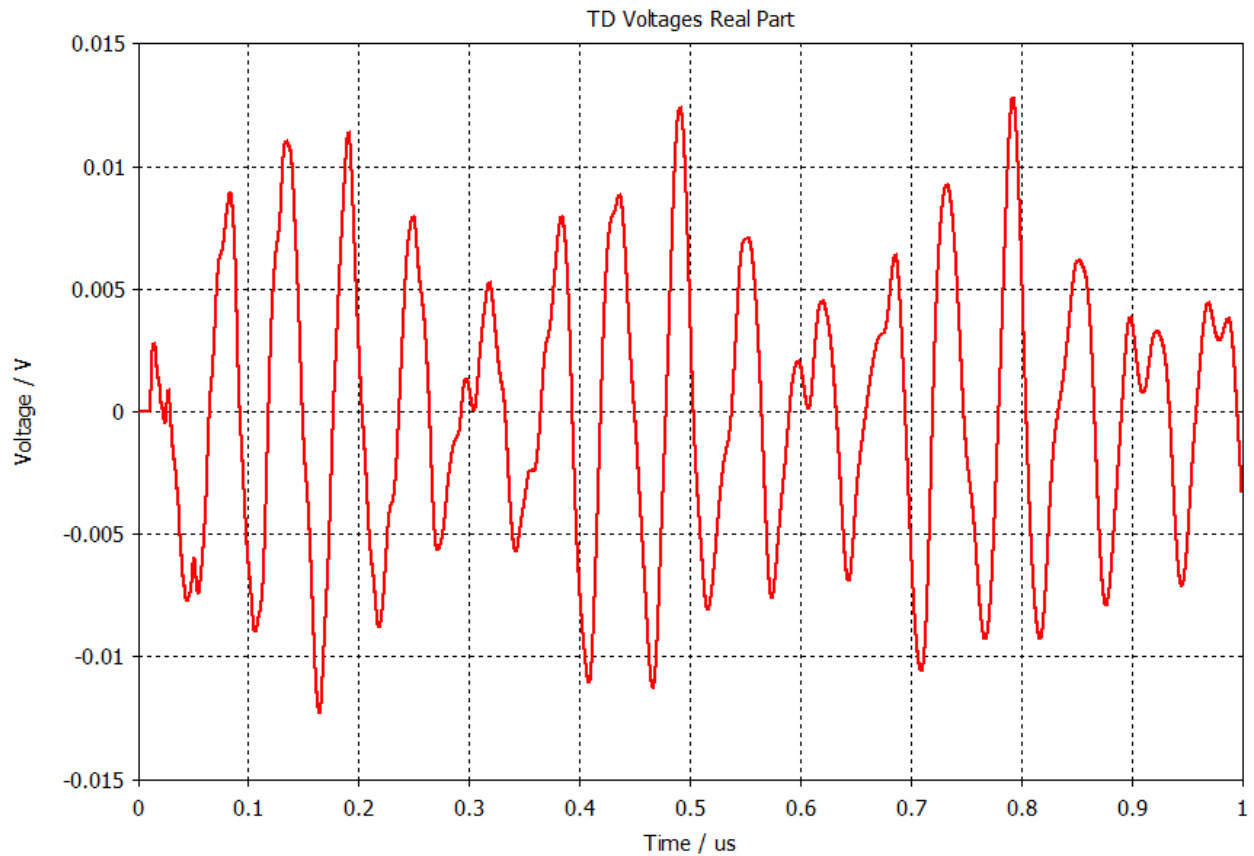


Рис. 3. График зависимости напряжения помехи от времени
Fig. 3. Graph of the dependence of the interference voltage on time

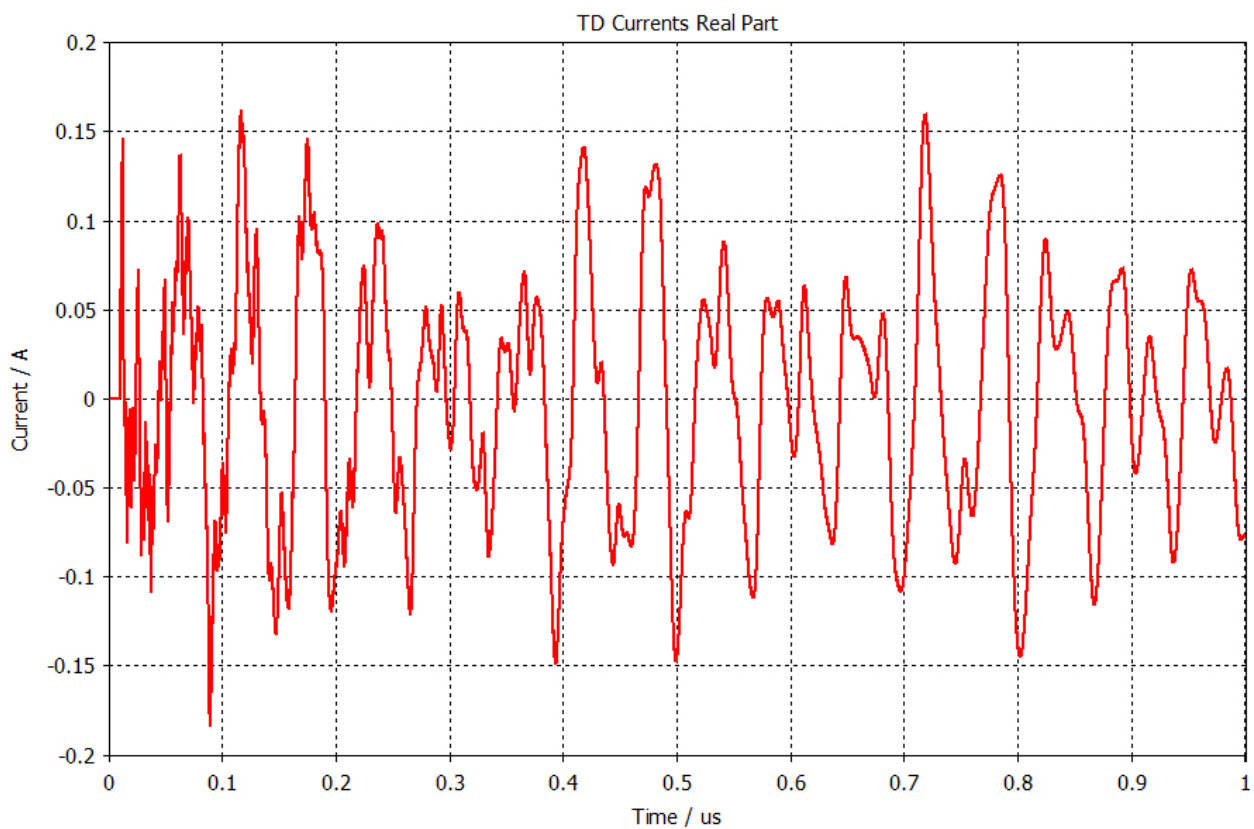


Рис. 4. График зависимости напряжения помехи от времени
Fig. 4. Graph of the dependence of the interference voltage on time

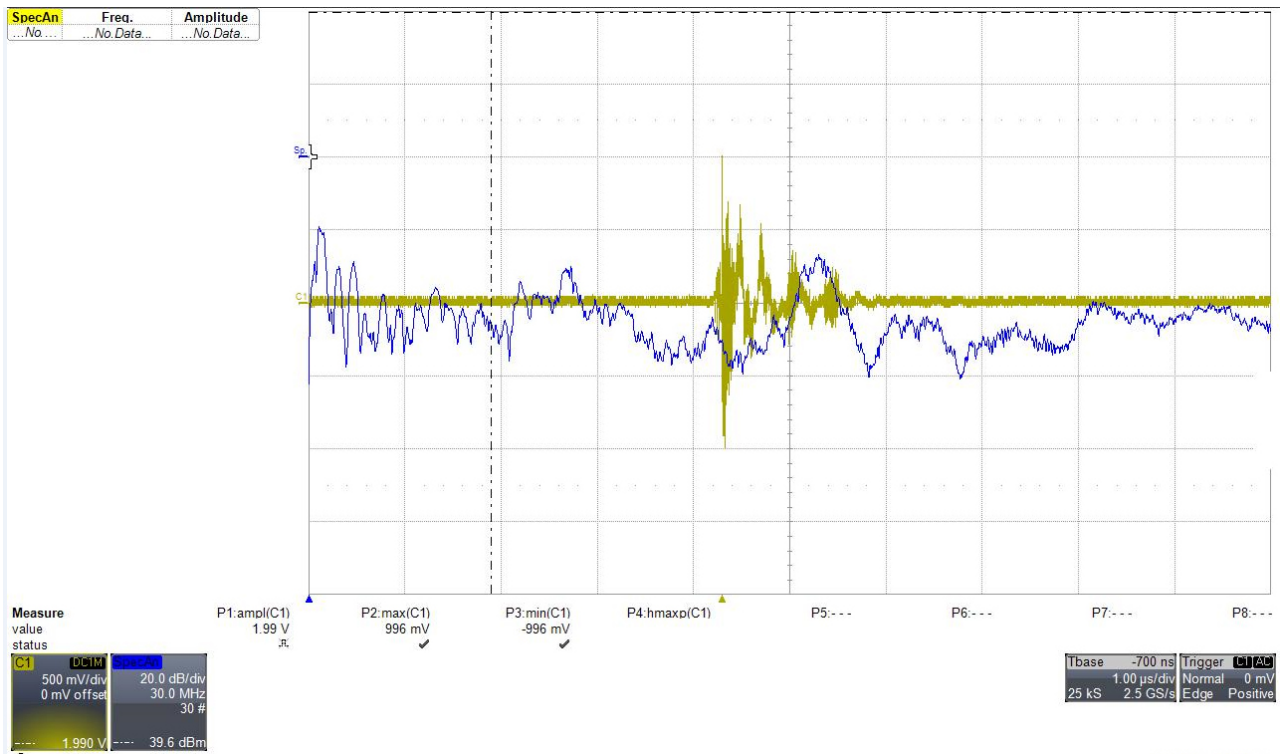


Рис. 5. Результат воздействия ЭСР, созданного ГЭР, на линии БКС

Fig. 5. Result of the impact of the ESD created by the ERT on the BCS line

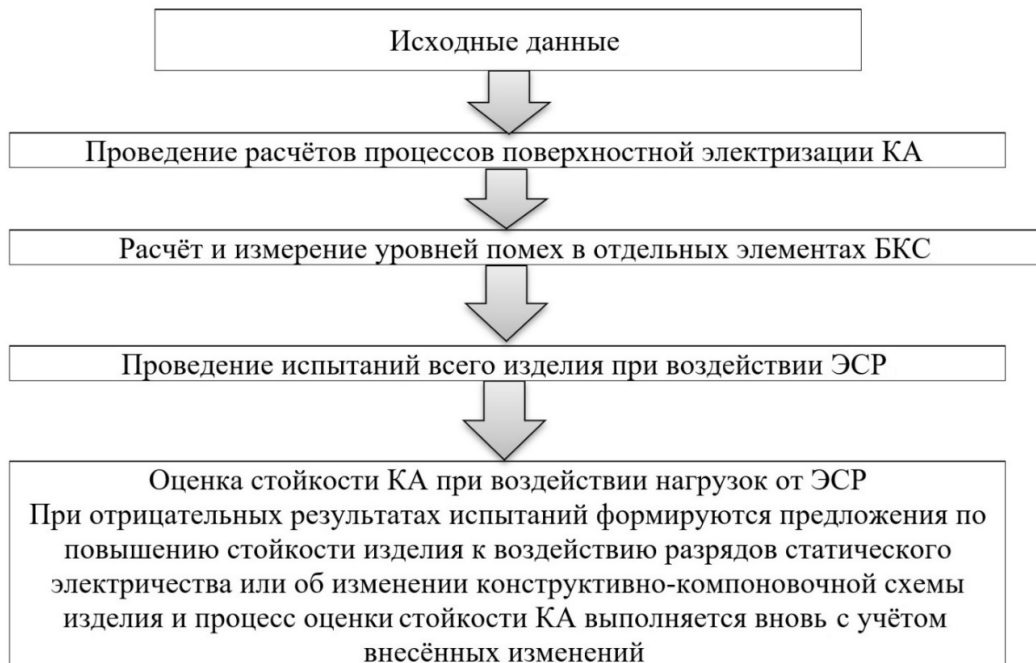


Рис. 6. Имитационная модель процесса проведения оценки стойкости БА КА

Fig. 6. Simulation model of the process of assessing the stability of the spacecraft BA

сложного объекта требует всесторонней подготовки, планирования [2; 10; 12; 13] и разработки программ и методик испытаний.

Методологический подход к процессу анализа стойкости КА к воздействию ЭСР с учетом результатов испытаний реализован на основе имитационного моделирования [9].

На рис. 6 представлена имитационная модель, которая имитирует последовательность действий и принятие решений при различных вариантах результатов выполнения отдельных структурных элементов модели с учетом результатов аналитических и численных решений, а также результатов испытаний.

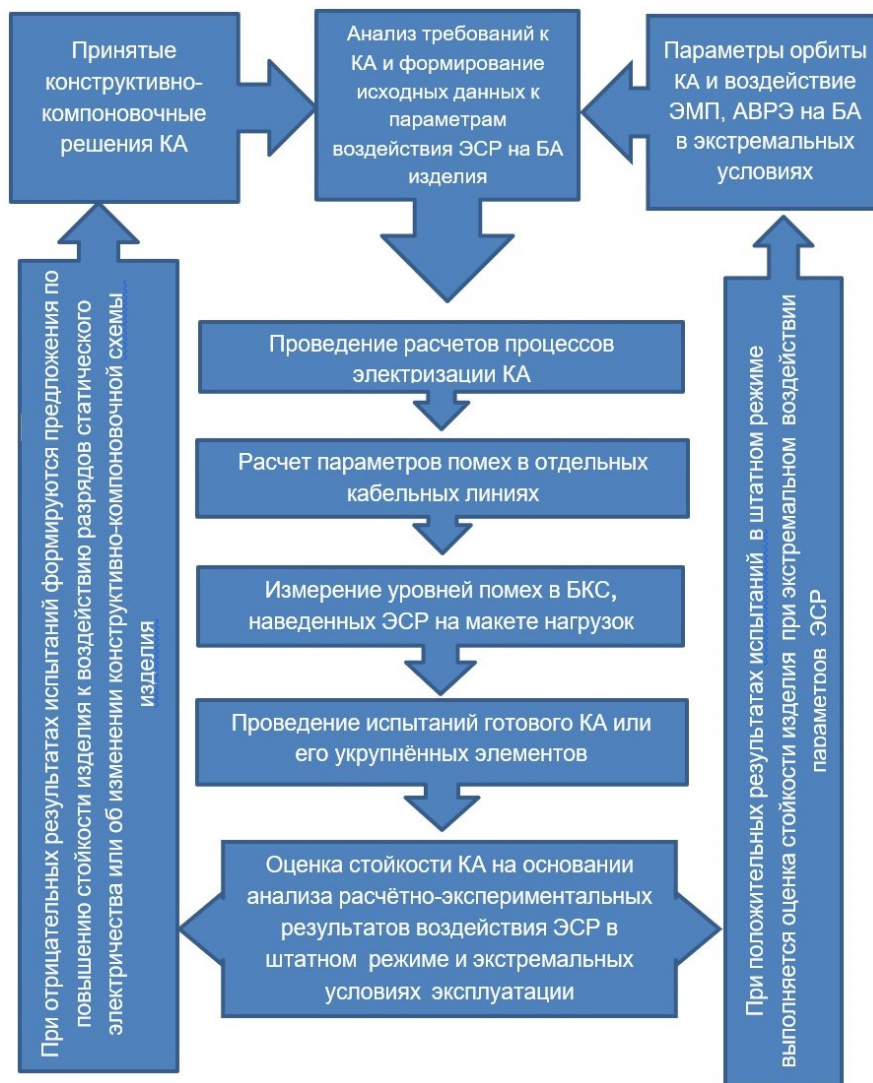


Рис. 7. Алгоритм оценки стойкости БА КА
Fig. 7. Algorithm for assessing the robustness of the spacecraft BA

На рис. 7 представлен алгоритм оценки стойкости БА КА к воздействию электростатических разрядов с учетом результатов испытаний, который позволяет на основе расчетно-экспериментального метода оценить стойкость БА КА при воздействии ЭМП, создаваемого ЕРПЗ и электронами АВРЭ.

Алгоритм предусматривает принятые конструктивно-компоновочные решения, условия эксплуатации изделия, учитывая воздействия ЕРПЗ.

На первом этапе расчетно-аналитическим методом оценивается стойкость БА КА. На втором этапе проводятся испытания кабельных линий БКС. На третьем этапе работ идут комплексные испытания БА КА. Если по техническим причинам на этапе комплексных испытаний невозможно провести испытания БА КА на стойкость к ЭСР, то испытываются отдельные элементы изделия в разобранном состоянии.

В случае получения отрицательных результатов испытаний необходимо принять решение о доработке изделия РКТ. После доработки изделия РКТ испытания повторяются вновь. После получения положительных результатов испытаний БА КА на устойчивость к ЭСР изделие РКТ допускается к летным испытаниям.

Заключение

В работе представлены исследования по выполнению последовательности мероприятий по оценке стойкости БА КА к ЭСР на основе математического и физического моделирования. Приведенная последовательность мероприятий позволяет на основе конструктивно-компоновочной схемы КА и параметров ЭМП, создаваемого ЕРПЗ и электронами АВРЭ, выполнить оценку стойкости КА.

Список литературы

1. Дементьев А.Н., Шишаков К.В., Систематизация радиотехнических условий для анализа потенциальных каналов непреднамеренных помех в системе ГЛОНАСС // Вестник ИжГТУ. 2010. № 2 (46). С. 93–96.
2. Косых Д.А. Методика и практика планирования и организации эксперимента. М.: Бибком, 2017. 859 с.
3. Кузнецов С.Н. Радиационные условия на малых высотах // Фундаментальные и прикладные проблемы космонавтики. 2002. № 9. С. 18–19.
4. Математическая теория планирования эксперимента / под ред. С.М. Ермакова. М.: Наука, 2020. 392 с.
5. Митчелл Э., Уэйт Р. Метод конечных элементов для уравнений с частными производными. М.: Мир, 1981. 160 с.
6. Комплексная методология определения параметров электростатической зарядки, электрических полей и пробоев на космических аппаратах в условиях их радиационной электризации / Л.С. Новиков [и др.]. М.: Изд-во ЦНИИмаш, 1995. 160 с.
7. Математическое моделирование электризации космических аппаратов / Л.С. Новиков [и др.] // Модель космоса. Т. II. Воздействие космической среды на материалы и оборудование космических аппаратов / под ред. Л.С. Новикова. М.: КДУ, 2007. С. 276–314.
8. Новиков Л.С. Радиационные воздействия на материалы космических аппаратов. М.: Университетская книга, 2010. 192 с.
9. Протодяконов М.М., Тедер Р.И. Методика рационального планирования экспериментов. М.: Наука, 2017. 317 с.
10. Тамм И.Е. Основы теории электричества. М.: Физматлит, 1976. 615 с.
11. Финни Д. Введение в теорию планирования экспериментов. М.: Наука, 2019. 300 с.
12. Хикс Ч. Основные принципы планирования эксперимента. М.: Мир, 2018. 408 с.
13. Помехозащищенность систем спутниковой связи с многолучевыми активными фазированными антенными решетками / А.Н. Дементьев [и др.] // Вопросы радиоэлектроники. 2016. № 11 (7). С. 6–12. URL: <https://vre.instel.ru/jour/article/view/565>
14. Аппроксимация, линеаризация и моделирование нелинейных передающих каналов систем спутниковой связи / А.Н. Дементьев [и др.] // Вопросы радиоэлектроники. 2016. № 11 (7). С. 18–21. URL: <https://vre.instel.ru/jour/article/view/567>
15. Физическая модель полосковой рамочной антенны, расположенной на диэлектрическом цилиндре / А.Н. Дементьев [и др.] // Космонавтика и ракетостроение. 2016. № 4 (89). С. 137–142.
16. Дементьев А.Н. Разработка методов помехозащищенности радиотехнических систем путем реализации технологии индивидуального отбора и квалификации радиационно-стойкой электронной компонентной базы на этапе ее производства // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2018. Т. 21, № 3. С. 129–137. URL: <https://journals.ssau.ru/pwp/article/view/7027>
17. Дементьев А.Н., Клюев Д.С., Соколова Ю.В. Расчет входного сопротивления полоскового вибратора, конформно расположенного на диэлектрическом цилиндре // Радиотехника и электроника. 2017. Т. 62, № 11. С. 1061–1066.
18. Дементьев А.Н., Клюев Д.С., Соколова Ю.В. Входное сопротивление полосковой рамочной антенны, конформно расположенной на диэлектрическом цилиндре // Физика и технические приложения волновых процессов: мат. XIII Межд. науч.-техн. конф. Казань, 2015. С. 90–92.
19. Дементьев А.Н. Математическое моделирование электромагнитной обстановки на борту космического аппарата // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2018. Т. 21, № 4. С. 26–36. URL: <https://journals.ssau.ru/pwp/article/view/6946>
20. Дементьев А.Н., Аралкин М.В., Осипов О.В. Исследование электромагнитных характеристик планарных киральных метаструктур на основе составных спиральных компонентов с учетом гетерогенной модели Бруггемана // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2020. Т. 23, № 3. С. 44–55. DOI: <https://doi.org/10.18469/1810-3189.2020.23.3.44-55>
21. Дементьев А.Н., Аралкин М.В., Осипов О.В. Отражение плоской электромагнитной волны от планарного слоя метаматериала на основе N-ортогональных микроспиралей // Сб. мат. XXVII Российской научной конф. проф.-преп. состава, научных сотрудников и аспирантов ПГУТИ с приглашением ведущих ученых родственных вузов и организаций. Самара: ПГУТИ, 2020. С. 110–111.
22. Приборы СВЧ- и оптического диапазона / А.Н. Дементьев [и др.]. Самара: ПГУТИ, 2018. 220 с.
23. Дементьев А.Н. Разработка методов помехозащищенности радиотехнических систем путем реализации технологии индивидуального отбора и квалификации радиационно-стойкой электронной компонентной базы на этапе ее производства // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2018. Т. 21, № 3. С. 129–137. URL: <https://journals.ssau.ru/pwp/article/view/7027>
24. Дементьев А.Н., Аралкин М.В., Осипов О.В. Отражение плоской электромагнитной волны от планарного слоя метаматериала на основе N-заходных гаммадионов // Сб. мат. XXVII Российской научной конф. проф.-преп. состава, научных сотрудников и аспирантов ПГУТИ с приглашением ведущих ученых родственных вузов и организаций. Самара: ПГУТИ, 2020. С. 109–110.
25. Дементьев А.Н., Аралкин М.В., Осипов О.В. Математическая модель метаматериала с учетом гетерогенности, киральности и дисперсии // Сб. труд. IV научного форума телекоммуникации: теория и технологии ТТТ-2020. «Физика и технические приложения волновых процессов»: материалы XVIII Международной научно-технической конференции. Самара, 2020. С. 216–217.
26. Дементьев А.Н., Нефедов В.И., Филатов А.А. Электромагнитная совместимость и помехозащищенность систем спутниковой связи с орбитальными и внутрисистемными источниками радиопомех // Сб. труд. ОАО «Концерн радиостроения “Вега”». 2016. № 4. С. 45–49.
27. Анализ методов оценки электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств ракеты-носителя тяжелого класса типа «Ангара-А5» / А.Н. Дементьев [и др.] // Космонавтика и ракетостроение. 2016. № 3 (88). С. 21–27.

References

1. Demytyev A.N., Shishakov K.V. Systematization of radio technical conditions for the analysis of potential channels of unintentional interference in the GLONASS system. *Vestnik IzhGTU*, 2010, no. 2 (46), pp. 93–96. (In Russ.)
2. Kosyh D.A. *Methodology and Practice of Planning and Organizing an Experiment*. Moscow: Bibkom, 2017, 859 p. (In Russ.)
3. Kuznetsov S.N. Radiation conditions at low altitudes. *Fundamental'nye i prikladnye problemy kosmonavтики*, 2002, no. 9, pp. 18–19. (In Russ.)
4. *Mathematical Theory of Experiment Planning*. Ed. by S.M. Ermakov. Moscow: Nauka, 2020, 392 p. (In Russ.)
5. Mitchell E., Uejt R. *Finite Element Method for Partial Differential Equations*. Moscow: Mir, 1981, 160 p. (In Russ.)
6. Novikov L.S. et al. *Integrated Methodology for Determining the Parameters of Electrostatic Charging, Electric Fields and Breakdowns on Spacecraft under Conditions of their Radiation Electrification*. Moscow: Izd-vo TsNIIImash, 1995, 160 p. (In Russ.)
7. Novikov L.S. et al. Mathematical modeling of electrification of spacecraft. *Space Model. Vol. II. The Impact of the Space Environment on Materials and Equipment of Spacecraft*. Ed. by L.S. Novikova. Moscow: KDU, 2007, pp. 276–314. (In Russ.)
8. Novikov L.S. *Radiation Effects on Spacecraft Materials*. Moscow: Universitetskaja kniga, 2010, 192 p. (In Russ.)
9. Protod'jakonov M.M., Teder R.I. *Methodology for Rational Planning of Experiments*. Moscow: Nauka, 2017, 317 p. (In Russ.)
10. Tamm I.E. *Fundamentals of the Theory of Electricity*. Moscow: Fizmatlit, 1976, 615 p. (In Russ.)
11. Finni D. *Introduction to Experiment Design Theory*. Moscow: Nauka, 2019, 300 p. (In Russ.)
12. Hiks Ch. *Basic Principles of Experiment Design*. Moscow: Mir, 2018, 408 p. (In Russ.)
13. Demytyev A.N. et al. Interference immunity of satellite communication systems with multi-beam active phased antenna arrays. *Voprosy radioelektroniki*, 2016, no. 11 (7), pp. 6–12. URL: <https://vre.instel.ru/jour/article/view/565> (In Russ.)
14. Demytyev A.N. et al. Approximation, linearization and modeling of nonlinear transmission channels of satellite communication systems. *Voprosy radioelektroniki*, 2016, no. 11 (7), pp. 18–21. URL: <https://vre.instel.ru/jour/article/view/567> (In Russ.)
15. Demytyev A.N. et al. Physical model of a strip loop antenna located on a dielectric cylinder. *Kosmonavtika i raketostroenie*, 2016, no. 4 (89), pp. 137–142. (In Russ.)
16. Demytyev A.N. Development of methods for noise immunity of radio engineering systems by implementing the technology of individual selection and qualification of a radiation-resistant electronic component base at the stage of its production. *Physics of Wave Processes and Radio Systems*, 2018, vol. 21, no. 3, pp. 129–137. URL: <https://journals.ssau.ru/pwp/article/view/7027> (In Russ.)
17. Demytyev A.N., Kljuev D.S., Sokolova Yu.V. Calculation of the input impedance of a strip vibrator conformally located on a dielectric cylinder. *Radiotekhnika i elektronika*, 2017, vol. 62, no. 11, pp. 1061–1066. (In Russ.)
18. Demytyev A.N., Kljuev D.S., Sokolova Yu.V. Input impedance of a strip loop antenna conformally located on a dielectric cylinder. *Fizika i tehicheskie prilozhenija volnovyh protsessov: mat. XIII Mezhd. nauch.-tehn. konf.*, Kazan, 2015, pp. 90–92. (In Russ.)
19. Demytyev A.N. Mathematical modeling of the electromagnetic environment on board the spacecraft. *Physics of Wave Processes and Radio Systems*, 2018, vol. 21, no. 4, pp. 26–36. URL: <https://journals.ssau.ru/pwp/article/view/6946> (In Russ.)
20. Demytyev A.N., Aralkin M.V., Osipov O.V. Investigation of the electromagnetic characteristics of planar chiral metastructures based on composite helical components taking into account the heterogeneous Bruggemann model. *Physics of Wave Processes and Radio Systems*, 2020, vol. 23, no. 3, pp. 44–55. DOI: <https://doi.org/10.18469/1810-3189.2020.23.3.44-55> (In Russ.)
21. Demytyev A.N., Aralkin M.V., Osipov O.V. Reflection of a plane electromagnetic wave from a planar layer of a metamaterial based on N-orthogonal microspirals. *Sb. mat. XXVII Rossijskoj nauchnoj konf. prof.-prep. sostava, nauchnyh sotrudnikov i aspirantov PGUTI s priglasheniem veduschih uchenyh rodstvennyh vuzov i organizatsij*, Samara, PGUTI, 2020, pp. 110–111. (In Russ.)
22. Demytyev A.N. et al. *Microwave and Optical Devices*. Samara: PGUTI, 2018, 220 p. (In Russ.)
23. Demytyev A.N. Development of methods for noise immunity of radio engineering systems by implementing the technology of individual selection and qualification of a radiation-resistant electronic component base at the stage of its production. *Physics of Wave Processes and Radio Systems*, 2018, vol. 21, no. 3, pp. 129–137. URL: <https://journals.ssau.ru/pwp/article/view/7027> (In Russ.)
24. Demytyev A.N., Aralkin M.V., Osipov O.V. Reflection of a plane electromagnetic wave from a planar layer of a metamaterial based on N-entry gammadions. *Sb. mat. XXVII Rossijskoj nauchnoj konf. prof.-prep. sostava, nauchnyh sotrudnikov i aspirantov PGUTI s priglasheniem veduschih uchenyh rodstvennyh vuzov i organizatsij*, Samara, PGUTI, 2020, pp. 109–110. (In Russ.)
25. Demytyev A.N., Aralkin M.V., Osipov O.V. Mathematical model of a metamaterial taking into account heterogeneity, chirality and dispersion. *Sb. trud. IV nauchnogo foruma telekommunikatsii: teorija i tehnologii TTT-2020. Fizika i tehicheskie prilozhenija volnovyh protsessov: materialy XVIII Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferentsii*, Samara, 2020, pp. 216–217. (In Russ.)
26. Demytyev A.N., Nefedov V.I., Filatov A.A. Electromagnetic compatibility and noise immunity of satellite communication systems with orbital and intrasystem sources of radio interference. *Sb. trud. OAO «Kontsern radiostroenija "Vega"»*, 2016, no. 4, pp. 45–49. (In Russ.)
27. Demytyev A.N. et al. Analysis of methods for assessing the electromagnetic compatibility of radio electronic equipment of a heavy-class launch vehicle of the «Angara-A5» type. *Kosmonavtika i raketostroenie*, 2016, no. 3 (88), pp. 21–27. (In Russ.)

Assessment of the resistance of technical means of space systems and complexes to the effects of electrostatic discharges

*Andrei N. Dementiev*¹, *Mikhail V. Aralkin*², *Yevgeny E. Krivobokov*²

¹ FSUE «NPO Technomac»
3rd passage Maryina Roscha, 40,
Moscow, 127018, Russia

² Khrunichev State Research and Production Space Center
18, Novozavodskaya Street,
121087, Moscow, Russia

Abstract – In order to further improve the methods of protecting the onboard spacecraft equipment from the effects of electrostatic discharges, based on a comprehensive study of the problem of the occurrence of electrostatic discharges, the authors carried out the studies described in this article to analyze the functioning of the onboard spacecraft equipment under the influence of electrostatic discharges. In the course of the research, the methodology for assessing the resistance of the onboard equipment of the spacecraft to the effects of electrostatic discharges was refined, based on the generalization of the calculation and analytical work. The analysis of the resistance of the onboard equipment of the spacecraft was carried out taking into account the main mechanisms of the effect of electrostatic discharges on the onboard space network. Taking into account the need to assess the resistance of the onboard space network equipment to electrostatic discharges outside real operating conditions, the authors assess the resistance of the onboard space network equipment on the basis of mathematical and physical modeling. As a result of the study, an algorithm was developed for assessing the resistance of the onboard equipment of a spacecraft to the effects of electrostatic discharges, which is described in detail in this article.

Keywords – electrostatic discharge; on-board equipment; spacecraft; on-board cable network; antenna device.

Информация об авторах

Дементьев Андрей Николаевич, доктор технических наук, доцент, заместитель генерального директора по научно-технологическому сопровождению работ по созданию изделий РКТ ФГУП «НПО «Техномаш», г. Москва, Россия.

Область научных интересов: физика электростатического заряда, информационные технологии, математическое моделирование, численные методы, анализ данных.

E-mail: dementev_2001@mail.ru

Аралкин Михаил Вячеславович, заместитель генерального конструктора – начальник направления по электро-радиосистемам АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева», г. Москва, Россия.

Область научных интересов: электромагнитная совместимость, антенны, СВЧ-устройства, физика магнетизма, физическое моделирование, анализ данных.

E-mail: aralkin.mv@khrunichev.ru

Кривобокоев Евгений Эдуардович, ведущий инженер АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева», г. Москва, Россия.

Область научных интересов: электромагнитная совместимость, антенны, СВЧ-устройства, физика магнитных явлений, анализ данных, компьютерное моделирование.

E-mail: kriv-evgeny@yandex.ru

Information about the Authors

Andrei N. Dementiev, Doctor of Technical Sciences, associate professor, deputy general director for scientific and technological support of work on the creation of RKT products of FSUE «NPO Technomac», Moscow, Russia.

Research interests: physics of electrostatic charge, information technology, mathematical modeling, numerical methods, data analysis.

E-mail: dementev_2001@mail.ru

Mikhail V. Aralkin, deputy general designer – head of the Electro-Radio Systems Department, Khrunichev State Research and Production Space Center, Moscow, Russia.

Research interests: electromagnetic compatibility, antennas, microwave devices, physics of magnetism, physical modeling, data analysis.

E-mail: aralkin.mv@khrunichev.ru

Yevgeny E. Krivobokov, lead engineer of Khrunichev State Research and Production Space Center, Moscow, Russia.

Research interests: electromagnetic compatibility, antennas, microwave devices, physics of magnetic phenomena, data analysis, computer modeling.

E-mail: kriv-evgeny@yandex.ru