

УДК 621.396.6:621.391.827

Создание системы контроля электризации поверхности КА для обеспечения оценки и управления электростатической обстановкой в орбитальных условиях

Р.Ю. Дорофеев

Аннотация

В данной публикации приведено описание особенностей построения системы контроля электризации поверхности КА с целью увеличения надежности в интересах повышения срока активного существования КА. Основным назначением проекта по созданию системы контроля электризации поверхности КА является возможность его применения при разработке комплекса конкретных мероприятий, способов и методов, направленных на повышение надежности БРА путем обеспечения ее защищенности от воздействия отрицательных факторов в орбитальных условиях эксплуатации. Кроме того, реализация данного проекта позволит развивать и внедрять современные технологии создания микроэлектронных устройств для КА. Области применения предлагаемой системы контроля электризации являются предприятия и структуры космической отрасли РФ, создающие и использующие спутниковые аппараты, в том числе КА с аппаратурой и оборудованием, производимые предприятиями, которые в настоящее время проводят техническую политику, направленную на повышение ресурса и надежности используемых КА.

Ключевые слова

электризации поверхности КА, бортовая радиоэлектронная аппаратура, геометрическая модель, структурная электрофизическая модель, датчиковая аппаратура.

Введение

Современные тенденции развития космической отрасли России, связанные с применением создаваемых космических аппаратов (КА), характеризуются необходимостью повышения их ресурса и соответственно надежности бортовой аппаратуры (БРА) и оборудования.

Одним из отрицательных факторов, влияющим на успешность решения данной задачи, является проблема электризации КА в орбитальных условиях.

Воздействие статического электричества на КА приводит к накоплению зарядов потенциалов ~1–20 кВ. Вследствие электризации возникают электрические разряды, создающие интенсивные электромагнитные помехи, а в некоторых случаях приводящие к повреждению и разрушению элементов аппаратуры. В результате на КА наблюдается большое количество аномалий в работе бортовой аппаратуры и оборудования: происходит самопроизвольное включение и выключение различных устройств, изменяется ориентация антенн, прекращается подача электроэнергии от солнечных батарей. Кроме того, активное использование в создании БРА достижений нано и микротехнологий снижает степень устойчивости (микросхемы становятся бескорпусными, многовыводными, уменьшается диэлектрический слой), применяемой аппаратуры к воздействию электромагнитных полей, что повышает актуальность данной проблемы в современных условиях [1-2].

Таким образом, одним из существенных факторов обеспечения высокой надежности БРА и соответственно повышения сроков эксплуатации КА является ее обеспечение защищенности от воздействия электростатических полей в орбитальных условиях.

Сущность проекта и его техническая обоснованность.

В связи с вышеизложенным, целью проекта является повышение защищенности радиоэлектронных компонентов бортовой аппаратуры от электростатических полей в интересах повышения надежности КА. Создание системы контроля электризации поверхности КА для обеспечения оценки и управления электростатической обстановкой в орбитальных условиях является задачей крайне актуальной.

Достижение цели проекта обеспечивается решением следующих основных задач:

- исследование возможных вариантов создания датчиковой аппаратуры на современных технологических принципах пригодной для установки на КА в орбитальных условиях;
- выбор мест установки датчиков путем расчетов на геометрической модели поверхности КА;
- исследование возможности организации съема и анализа датчиковой информации о уровне электростатических полей (ЭСП) для принятия решения о воздействии на ЭСП;
- осуществление снижения уровня ЭСП путем формирования необходимого управляющего сигнала инициирующего конкретные действия по использованию выбранного способа борьбы с действующим электростатическим зарядом.
- выбор оптимального способа снижения уровня ЭСП на борту КА.

Сущность проекта заключается в разработке способа обеспечения защищенности КА от воздействия электростатических полей в орбитальных условиях путем создания системы контроля электризации поверхности космических аппаратов и разработке методологии ее использования в орбитальных условиях.

Одним из достоинств предлагаемого способа защиты от ЭСП является создание датчиковой аппаратуры с использованием передовой технологии МЭМС. Микро-электро-механические системы (MEMS) – одна из наиболее передовых технологий, позволяющая не только значительно улучшить характеристики электронной аппаратуры, но и создавать устройства для решения задач в совершенно новых областях. MEMS устройства представляют собой электронные схемы, механические узлы и чувствительные элементы, выполненные в виде одного компонента с использованием технологических приемов, применяемых для производства микросхем. Фактически технология MEMS позволяет дополнять традиционную электронную схему датчиками и исполнительными механизмами, достигая тем самым интегрированного изготовления законченной системы. Микромеханическое реле обеспечивает ряд преимуществ по сравнению с традиционным электромеханическим реле. Типичные размеры микромеханических элементов лежат в диапазоне от 1 микрометра до 100 микрометров, тогда как размеры кристалла MEMS микросхемы имеют размеры от 20 микрометров до одного миллиметра, соответственно с такими размерами вес датчика составляет несколько десятков граммов. Они имеют небольшой размер, малое время коммутации, потребляют небольшую мощность. По сравнению с полупроводниковыми устройствами, например транзисторами, микромеханическое реле имеют преимущество в высоком сопротивлении в разомкнутом состоянии. Высокая надежность заключается в большом количестве рабочих циклов. Некоторые конструкции выдерживают до 10^9 циклов переключений. Данные размеры и масса элементов контроля электризации позволяют производить установку на наноспутники, что соответствует одному из направлений развития нашего предприятия, связанному с созданием аппаратуры для КА на основе нанотехнологий.

Расположение датчиковой аппаратуры на конструкции космического аппарата должно приниматься на основе результатов, полученных на основе расчетов структурной электрофизической модели (СЭМ) электризации КА, используется для получения картины растекания токов по конструкции КА. Эта картина растекания токов служит в дальнейшем исходным материалом для расчета электромагнитных наводок. Пример картины растекания токов по поверхности КА, полученной при помощи компьютерного расчета СЭМ КА показан на рис.1.

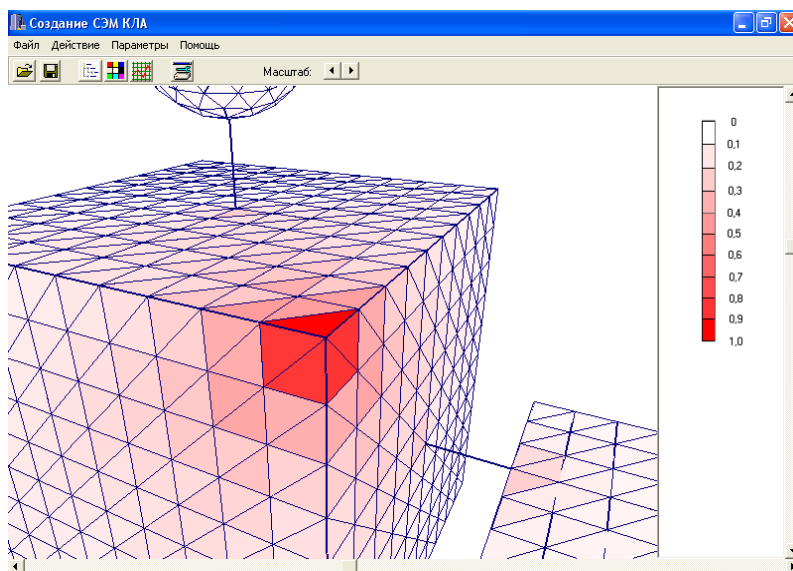


Рис. 1. Считывание результатов расчета и визуализация картины растекания токов в программе создания СЭМ КА

СЭМ позволяет определить наиболее уязвимые области КА. В таких местах и следует располагать датчиковую аппаратуру, с помощью которой обеспечивается съем информации о характеристиках и параметрах электризации космического аппарата в местах размещения датчиков (рис.2.), т.е. потенциалах в точках размещения датчиков, а также потенциала КА в целом, и их изменении в процессе полета КА [3-8].

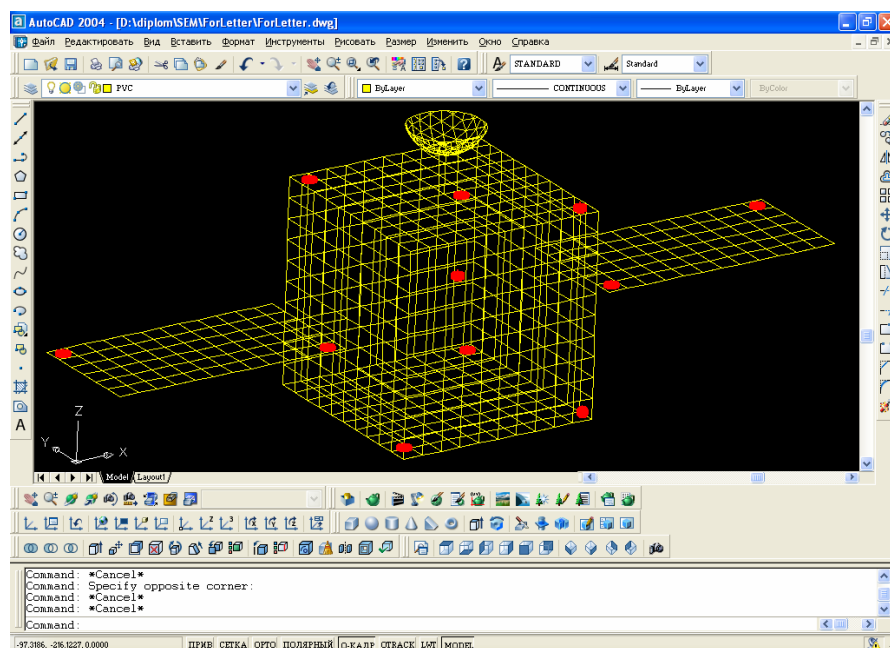


Рис.2. Геометрическая модель поверхности КА, разбитая на полигоны, с возможным вариантом расположения аппаратуры контроля (красным цветом) электростатических полей

Оценку электростатической обстановки по результатам контроля и принятие решения на применение варианта защиты предлагается производить автоматически или в «ручном» режиме на основе полученных данных от датчиков. Одним из возможных вариантов действий системы контроля электризации поверхности КА является автоматическое принятие решения по применению средств активной защиты. Данные с датчиков (в случае превышения уровня ЭСП безопасных значений) передаются на логическое устройство, которое в автоматическом режиме формирует команду, инициирующую применение активных средств защиты. Перечень основных активных средств защиты, применение которых возможно на КА в орбитальных условиях представлен на рисунке 3. По предварительным оценкам основным активным средством защиты могут служить устройства, создающие ионно-плазменные потоки с формированием искусственной собственной внешней атмосферы.



Рис. 3. Активные средства защиты, используемые для защиты КА от ЭСП.

Несколько более сложным, но принципиально возможным, представляется вариант, где данные о уровне ЭСП, полученные системой контроля через телеметрию передаются в ЦУП, в котором принимается решение о корректировке (выключение/включение) времени работы КА для прохождения опасной зоны, и использовании в случае необходимости активных средств нейтрализации электрического заряда внутри приборных отсеков и корпусов аппаратуры КА на основе принятых данных от датчиковой аппаратуры, что позволит оперативно реагировать на изменение электростатической обстановки на поверхности КА.

Совокупность данных мероприятий в сочетании с применением мер защиты от воздействия СЭ на КА на этапе разработки позволит существенно повысить надежность космических аппаратов в орбитальных условиях эксплуатации.

Техническая обоснованность проекта заключается в научной обоснованности методологии решения перечисленных выше задач, апробировании предлагаемых технических принципов и решений по защите от воздействия ЭСП посредством участия в научно-технических конференциях по тематике конструирования и технологии производства бортовой аппаратуры для современных КА, а также реализации такого рода

технических решений на практике в наземных условиях. Перечисленные факторы, а также использование при реализации проекта современных технологий, в совокупности позволит осуществить практическую реализацию проекта, не влияя существенно на массогабаритные характеристики КА.

Назначение и области применения проекта.

Основным назначением проекта является возможность его применения при разработке комплекса конкретных мероприятий, способов и методов, направленных на повышение надежности БРА путем обеспечения ее защищенности от воздействия отрицательных факторов в орбитальных условиях.

Кроме того, реализация проекта на предприятиях космической отрасли РФ позволит развивать и внедрять современные технологии создания микроэлектронных устройств для КА.

Областями применения предлагаемой системы контроля электризации являются предприятия и структуры космической отрасли РФ, создающие и использующие спутниковые аппараты, в том числе КА с аппаратурой и оборудованием, производимые предприятиями, которые в настоящее время проводят техническую политику, направленную на повышение ресурса и надежности используемых КА.

Актуальность и значение проекта для космической отрасли.

Актуальность и значение проекта в целом определяется тем, что применение предлагаемой системы контроля электризации поверхности КА в ракетно-космических отраслях РФ обеспечивает решение задачи высоконадежной эксплуатации КА в орбитальных условиях, предполагающих накопление губительных электростатических потенциалов.

Разработка и применение датчиков контроля электризации на КА для оценки электростатической обстановки и оценки стойкости радиоэлектронных компонентов к воздействию ЭСР позволит повысить защищенность изделий микроэлектроники, используемых на космических аппаратах.

Реализация проекта на предприятии позволит, с одной стороны, ускорить переход на использование новых более эффективных технологий создания БРА для отечественных космических аппаратов, с другой, даст реальную возможность повысить качество и соответственно надежность создаваемых на предприятиях космической отрасли бортового оборудования и аппаратуры, в орбитальных условиях эксплуатации.

В конечном итоге все это скажется на повышении возможностей предприятия, связанных с производством высокотехнологичной аппаратуры и оборудования для КА и ее использованием в орбитальных условиях эксплуатации, росте конкурентоспособности предприятия на российском и международном рынке космических отраслей в части продвижения и сбыта продукции. Что в свою очередь позволит улучшить финансово-экономические характеристики деятельности предприятия.

Новизна, аналоги и существенные отличия от аналогов, положительный эффект.

Новизна данного проекта заключается в том, что впервые разработаны и сформулированы проект, определяющий технические средства, методологию и порядок их применения на КА с учетом существующих современных технологий по производству изделий микроэлектроники и методов защиты от электростатических полей для обеспечения контроля уровня ЭСП и принятия мер по защите от их отрицательного воздействия на БРА.

При этом, в соответствии с разработанным проектом, защита от ЭСП КА в орбитальных условиях обеспечивается решением следующей совокупности задач:

- разработка метода создания бортовых микроэлектронных устройств, используемых на КА в орбитальных условиях для контроля электростатических полей на основе технологий МЭМС;
- создание структурной электрофизической модели электризации КА для определения порядка размещения датчиковой аппаратуры контроля электризации поверхности КА;
- осуществление выбора и применения активных средств антистатической защиты на КА в орбитальных условиях по результатам контроля электростатической обстановки.

Проведение патентного поиска выявило некоторые варианты реализации аппаратуры контроля электризации. Датчики электризации, составляющие основу такой аппаратуры, в основном характеризуются громоздкостью, высокой потребляемой мощностью, невысокой надежностью, дороговизной. Варианты исполнения устройств имели крупногабаритные системы хранения и обработки данных размером с «видеомагнитофон» ёмкостью памяти 500кБайт, соответственно применялись только в наземных условиях эксплуатации. Потребляемая мощность составляет приблизительно 1Вт, габариты платы 15x20 см, масса 250 г.

Использование данных вариантов реализации выявило следующие недостатки: массогабаритные, большое энергопотребление, малый срок активной службы исполнительных элементов, отсутствие телеметрии.

Основными преимуществами датчиковой аппаратуры, изготовленной по технологии MEMS над аналогами из дискретных компонентов, являются следующие:

- малый разброс параметров в пределах изделия;
- высокая технологичность и повторяемость;
- микроминиатюрность;
- высокая функциональность;
- улучшенные характеристики функционирования;
- высокая надежность и стойкость к внешним воздействиям;
- низкая стоимость.

Выше перечисленные преимущества контрольной аппаратуры, созданной по этой технологии, определяют объективную целесообразность ее использования для КА.

В настоящее время за рубежом уже используются датчиковые системы, которые осуществляют сбор данных об обстановке (параметры среды) на КА в орбитальных условиях под влиянием окружающей магнитосферы. Такой проект осуществляется совместно NASA и корпорацией Aerospace. При этом планируется создание "черного ящика", в котором будут использованы нанодатчики массой несколько граммов. После прохождения опасного скоростного участка и входа в плотные слои атмосферы черный ящик будет "звонить домой" и передавать данные с использованием спутника до посадки на землю или водную поверхность. NASA намечает опытные испытания проекта на 2011-2012 г. на борту невозвращаемой ракеты Delta II. Если испытания пройдут успешно, планируется использовать нанотехнику в экспедициях на Луну и Марс.

Аналогов системы, обеспечивающей контроль ЭСП на КА в орбитальных условиях и реализацию технических мер защиты от его воздействия с предлагаемой в данном проекте аппаратурной реализацией в настоящее время не существует.

Положительный эффект проекта будет заключаться в повышении надежности создаваемой на предприятии БРА и оборудования для КА в результате обеспечения ее защищенности от отрицательного воздействия ЭСП в орбитальных условиях, что в свою очередь обеспечивает повышение ресурса КА.

Кроме того, повышение качества и надежности данной продукции предприятия приведет к росту конкурентоспособности продукции и соответственно авторитета и возможностей предприятия на отечественном рынке, связанным со сбытом продукции космической отрасли, что в конечном итоге позволит повысить доходность (финансово-экономические показатели структурных подразделений, отвечающих за создание БРА, и предприятия в целом).

Перспективы развития рынка.

Основные тенденции рынка, связанного со спросом на системы контроля и управления ЭСП, и соответственно их сбытом определяются следующими факторами:

- активное развитие спутниковых систем разного рода (навигационные, связные, метеорологические и т.д.) и расширение их функциональных возможностей;
- повышение требований к указанным спутниковым системам в плане необходимости обеспечения больших сроков эксплуатации в орбитальных условиях (гарантийного ресурса);
- повышение требований к надежности, качеству, а также массогабаритным характеристикам бортовой аппаратуры и оборудования, используемых для КА.

В связи с влиянием указанных факторов на рынке продукции космической отрасли будет обеспечен устойчивый спрос на продукцию, оказывающую влияние на качество и надежность компонентов КА и соответственно их гарантийный ресурс.

Поэтому с максимальной вероятностью прогнозируется высокий или как минимум устойчивый спрос на систему, создание которой предлагается в рамках данного проекта. Это связано с тем, что предлагаемая система обеспечивает контроль и активное влияние на условия эксплуатации КА на орбите (уровень ЭСП), способствуя тем самым повышению надежности бортового оборудования и аппаратуры и соответственно гарантийного ресурса КА.

Инициирование дополнительного интереса к системе будет обеспечиваться использованием новых технологий MEMS при создании технических средств системы, так как эти технические средства, создаваемые с использованием такой технологии отличаются высокой функциональностью, надежностью и минимальными массогабаритными характеристиками.

Кроме того, практически полное отсутствие аналогов, о чем было сказано выше, дополнительно повышает степень ее рыночной привлекательности.

Реализуемость при существующем научно-техническом потенциале.

Реализуемость данного проекта представляется возможной на базе предприятий входящих в ФКА «Роскосмос». ОАО «Российские космические системы» обладают необходимым оборудованием для создания устройств по технологии МЭМС, и персонал имеет уже достаточно большой опыт в создании микроэлектронных устройств по такой технологии.

Ресурсы, необходимые для завершения проекта.

- финансирование должно составить 20 000,00 тыс. руб., структура цены приведена в таблице;

- помещение для проведения разработок, экспериментов, изготовления устройств (имеется на базе организации ОАО «Российские Космические системы»);

- персонал;

- оборудование.

Таблица 1. Структура цены проекта

№ п/п	Наименование статей затрат	в том числе по годам:	
		2012	2013
1	Опытно конструкторские работы	5000,00	5000,00
2	Затраты на оплату труда	1500,00	1500,00
3	Среднегодовые отчисления на страховые взносы и обязательное социальное страхование от несчастных случаев	174,43	205,94
4	Прочие прямые затраты	0,00	0,00
5	Накладные расходы	1000,00	1000,00
6	Затраты на изделия собственного производства	0,00	0,00
	Итого себестоимость собственных затрат	7674,43	7674,43
7	Затраты на специальное оборудование	1140,00	1140,00
8	Затраты по работам, выполняемым сторонними организациями	500,00	500,00
	Итого себестоимость	9 413,43	9 413,43
9	Прибыль	586,57	586,57
	Цена	10 000,00	10 000,00

Время необходимое для воплощения проекта в жизнь 2 года.

Заключение

Основным назначением проекта по созданию системы контроля электризации поверхности КА является возможность его применения при разработке комплекса конкретных мероприятий, способов и методов, направленных на повышение надежности БРА путем обеспечения ее защищенности от воздействия отрицательных факторов в орбитальных условиях эксплуатации.

Кроме того, реализация данной работы позволит развивать и внедрять современные технологии создания микроэлектронных устройств для КА.

Областями применения предлагаемой системы контроля электризации являются предприятия и структуры космической отрасли РФ, создающие и использующие спутниковые аппараты, в том числе КА с аппаратурой и оборудованием, производимые предприятиями, которые в настоящее время проводят техническую политику, направленную на повышение ресурса и надежности используемых КА.

Список использованной литературы

1. Дорощеев Р.Ю., Жуков А.А. Особенности защиты бортовой аппаратуры космических аппаратов от электростатического разряда на этапе ее схемотехнического проектирования. Труды II Всероссийской научно–технической конференции «Актуальные проблемы ракетно-космического приборостроения и информационных технологий», посвященной 100-летию со дня рождения М.С. Рязанского. 2-4 июня 2009 года. М.: Радиотехника, 2010, С. 140-149
2. Дорощеев Р.Ю. Алгоритм для моделирования электризации КА в орбитальных условиях эксплуатации. Сборник тезисов IV Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные проблемы ракетно-космического приборостроения и информационных технологий». 15-17 июня 2011 года М.: Радиотехника, 2011.
3. Дорощеев А.Н., Соколов А.Б., Саенко В.С. Расчет наводок во фрагментах бортовой кабельной сети космических летательных аппаратов // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2007614306 от 09 октября 2007 года. – Москва. – Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам.
4. Марченков К.В., Соколов А.Б., Саенко В.С. Расчет величины помеховых сигналов во фрагментах бортовой кабельной сети космических летательных аппаратов // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2007614835 от 23 ноября 2007 года. – Москва. – Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам.
5. Соколов А.Б., Саенко В.С. Моделирование изменений радиационной электропроводности полимеров внешней поверхности космических аппаратов при воздействии факторов космического пространства // Технологии электромагнитной совместимости. - Москва, изд-во ООО «Издательский Дом «Технологии». – 2008. - № 2(25), С. 9-11
6. Комягин С.И., Соколов А. Б. Математическая модель электромагнитной стойкости // Электромагнитная совместимость и проектирование электронных средств. Сборник научных трудов. - Москва, МИЭМ. – 2008. - С. 19-21.
7. Измайлов А.С., Дорощеев А.Н., Саенко В.С., Пожидаев Е.Д., Тютнев А.П., Семенов В.Т. Структурная электрофизическая модель электризации космических аппаратов С. 210-219.
8. Дорощеев А.Н. Саенко В.С., Нерето М.О. Программное обеспечение структурной электрофизической модели электризации КА. Труды XIII Межнационального -

совещания «Радиационная физика твердого тела», 30 июня – 5 июля 2003 г.
Севастополь. С. 218-222.

Сведения об авторах

Дорофеев Роман Юрьевич, инженер-исследователь ОАО «Российские космические системы», тел.: 89167023839, e-mail: myhavkedah@mail.ru