

- этап 5 – обратное преобразование Фурье от результата, полученного на этапе 4, с помощью функции *ifft*.
- этап 6 – нормирование значения восстановленного распределения плотности в объекте контроля.

В данной работе получены апертурные функции при сканировании по оси *z* для зоны контроля 10 мм двумя способами: теоретически, исходя из геометрии РО и с помощью преобразования Фурье экспериментальных данных для эталона. Полученные математические выражения для апертурных функций рассеивающего объема томографа «ComScan» позволяют использовать аппарат математической реконструкции для улучшения его пространственного разрешения и может быть использован во всех системах комптоновской томографии.

Список литературы

1. Дьяконов В.П. Компьютерная математика. Теория и практика. – М.: Нолидж, 1999. – 1296 с.
2. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов: учебник для вузов. – 2-е изд. – СПб.: Питер, 2006. – 751 с.
3. Левкович А.Д., Люцко А.М., Перцев А.Н. Изотопная биоинтроскопия / под редакцией А.Н. Писаревского. – М.: Атомиздат, 1973. – 200 с.
4. Капранов Б.И. и др. Томография на комптоновском обратном рассеянии. Состояния и перспективы // Дефектоскопия. – 1994. – № 10. – С. 36–53.
5. Горшков В.А. и др. Математический аспект повышения апертурного разрешения в томографии на обратнорассеянном излучении // Дефектоскопия. – 1999. – № 5. – С. 69–78
6. Булатов Б.П. Обратное рассеянное гамма излучение в радиационной технике. – М.: Атомиздат, 1971. – 420 с.

АППАРАТУРА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННО-ПРОТОННОГО ЗАРЯЖЕНИЯ ВЫСОКООМНЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ В УСЛОВИЯХ ИНВЕРСНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛА

А.А. Чигорко

*Томский политехнический университет, НИИ Интроскопии
Томск, Россия*

Предложен комплекс аппаратуры для исследования заряжения диэлектриков космического применения в условиях инверсного распределения потенциала. Обоснована важность изучения явления инверсного распределения потенциала. Приведены оценки параметров электронно-протонного воздействия на космический аппарат в условиях инверсного распределения потенциала. Представлены требования к экспериментальной аппаратуре.

Введение

Достоверно известно, что частота сбоев в работе бортовой аппаратуры (БА) космических аппаратов (КА) на геостационарной орбите имеет высокую корреляцию с местным (локальным) временем на КА. Этот факт подтвержден экспериментальными данными, полученными с разных КА.

Например, из рис. 1 видно, что наиболее часто сбои в работе бортовой аппаратуры спутников DSP и MARECS-A возникают во временном секторе от 0 до 6 утра по локальному времени на спутнике [1].

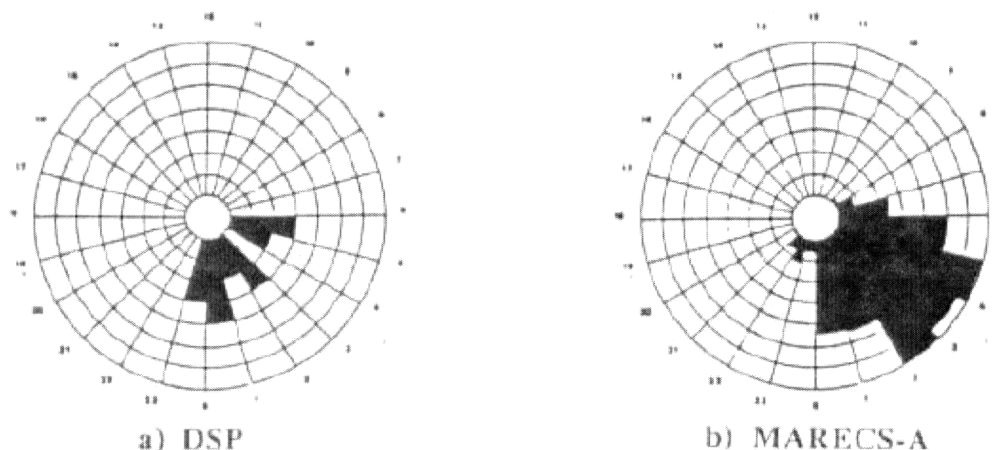


Рис. 1. Зависимость сбоев от локального времени на КА для спутников DSP и MARECS-A

Согласно данным, полученным со спутников компании Telesat Anik-E1 (GE-5000) 1991 и Anik-E2 (GE-5000) 1991 [2], также наблюдается резкое повышение числа сбоев в работе бортовой аппаратуры в утренние часы по локальному времени с 0 до 6 часов.

Сбои в работе БА напрямую связаны с электростатическими разрядами, идущими на поверхности КА.

В области геостационарной орбиты в утренние часы появляются интенсивные потоки горячей плазмы, приходящие со стороны хвоста магнитосферы, кроме того, КА после полуночи некоторое время (не более 73 минут) находится в тени.

Величина электронного тока, текущего на поверхность КА в этих условиях, такова, что в отсутствие освещения приносимый электронами заряд накапливается на поверхности. В результате поверхность КА может приобретать отрицательный потенциал, измеряемый единицами и даже десятками киловольт.

Возникающие при зарядке большие разности потенциалов между отдельными участками поверхности и элементами конструкции КА могут вызвать электрические разряды, создающие электромагнитные, световые и акустические помехи для электронного и оптического оборудования КА.

Результаты исследований разрядных явлений, идущих на диэлектриках космического применения в условиях, когда потенциал металлической подложки равен нулю или много меньше потенциала поверхности диэлектрика, широко освещены в специальной литературе [3–4].

Однако велика вероятность возникновения ситуации, когда потенциал металлической конструкции (остова КА) при зарядке становится более отрицателен по отношению к соседнему диэлектрическому материалу. Данное явление в иностранной литературе получило название инверсного распределения потенциала (*inverted potential*).

Разряды, протекающие в условиях инверсного распределения потенциала, имеют следующие особенности:

1) Данный тип разрядов существенно отличается от разрядов на диэлектрике меньшим дифференциальным потенциалом (около 500 В), необходимым для инициации разрядного процесса, малой длительностью и крайне крутыми фронтами (до 10^8 А/с), т. к. отсутствует процесс распространения разряда. На рис. 2 представлен пример такого разряда [5].

Механизм, вызывающий разряд с инверсным потенциалом, является результатом совместного действия автоэлектронной эмиссии, вторичной эмиссии, краевого и теплового эффектов.

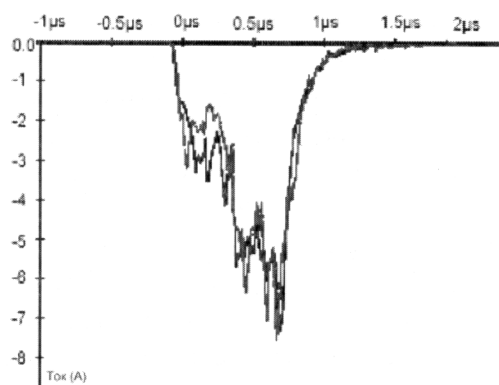


Рис. 2. Пример разряда в условиях инверсного распределения потенциала

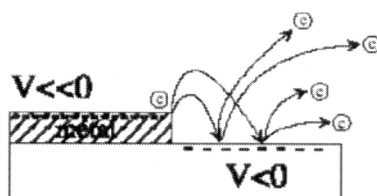


Рис. 3. Схема разряда при инверсном распределении потенциала

Процесс разряда начинается, когда потенциал металла становится более отрицательным, чем на смежном диэлектрике. Когда разность потенциалов становится достаточной (около 500 В), наступает автоэлектронная эмиссия из металла к диэлектрику. Электроны двигаются к диэлектрику по силовым линиям и выбивают с поверхности диэлектрика вторичные электроны. Разница потенциалов увеличивается, вызывая усиление эмиссии, и явление повторяется до тех пор, пока не пройдет лавина, которая полностью разрядит материал [5].

2) В условиях инверсного распределения потенциала, электроны окружающей КА плазмы будут тормозиться электрическим полем металлической подложки, а протоны, соответственно, ускоряться. В результате в диэлектрике появится слой внедренных положительно заряженных частиц (протонов), который приведет к усилению электрического поля внутри диэлектрика.

Исторически, явление возникновения инверсного распределения потенциала учитывалось лишь при радиационных испытаниях солнечных батарей КА.

В настоящей статье предложен комплекс аппаратуры, позволяющий

- моделировать параметры окружающей среды на геостационарной орбите в период с 0 до 6 часов по локальному времени;
- моделировать явление инверсного распределения потенциала;
- проводить испытания диэлектриков космического применения в условиях инверсного распределения потенциала;
- измерять параметры разрядных явлений, протекающих на диэлектриках, а также параметры электризации.

Расчетные условия проведения эксперимента

1. Уровень вакуума порядка 10^{-6} Торр позволяет моделировать степень разряднения на геостационарной орбите.

2. Оценка потенциала металлического остова КА произведена на основе теоретических и экспериментальных данных. В среднем потенциал КА колеблется в районе от 2 до 4 кэВ, увеличиваясь до 10 кВ в период нахождения КА в тени.

Согласно данным о потенциале КА, полученным со спутников LANL 1994-084 и LANL 1991-080 14 марта 1999 г. [6] потенциал КА в период с 0 до 6 ч по локальному времени находится в пределах от 2 до 4 кВ. Данные цифры отражают средние значения потенциала КА.

Для моделирования необходимо использовать максимально неблагоприятные возможные условия, поэтому воспользуемся данными, полученными в ходе теоретических исследований, проведенных на программе NASCAP (программа для численного моделирования процессов электризации космических объектов) [7]. Согласно этим данным потенциал остова КА может достигать 10 кВ в период с 0 до 6 часов по локальному времени.

При моделировании инверсного распределения потенциала необходимо сохранить подобие распределения электрического поля вблизи поверхности КА и вблизи испытываемого образца в вакуумной камере.

В плазме распределение потенциала точечного тела с зарядом q на расстоянии r описывается выражением

$$\varphi(r) = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r} e^{-\frac{r}{R_D}}, \quad (1)$$

где R_D – радиус Дебая.

Радиус Дебая на геостационарной орбите составляет от 140 до 1100 м, т. е. достаточно большой по сравнению с радиусом КА, который максимально составляет 10 м. Поэтому на малых расстояниях $r \ll R_D$ распределение потенциала в плазме сходно с распределением электростатического потенциала в воздухе. Таким образом, поля вблизи поверхности КА и образца будут распределены по одному и тому же закону.

Кроме того, так как электрическое поле вблизи КА задается зарядами на его поверхности, то вблизи поверхности КА движение заряженных частиц определяется полями накопленных поверхностных зарядов, поэтому при моделировании можно использовать вакуумную камеру сравнительно небольшого размера.

4. Произведем оценку параметров электронного и протонного облучения КА в период с 0 до 6 ч локального времени в условиях инверсного распределения потенциала.

На характер облучения влияют два фактора. Во-первых, в период с 0 до 6 ч КА входит в зону высокоэнергетических электронов, а, во-вторых, отрицательно заряженный остов КА сдвигает энергетический спектр электронов и ионов (протонов) окружающей плазмы.

С увеличением потенциала КА энергетический спектр окружающей электронов и протонов плазмы меняется (рис. 4 и 5) [8].

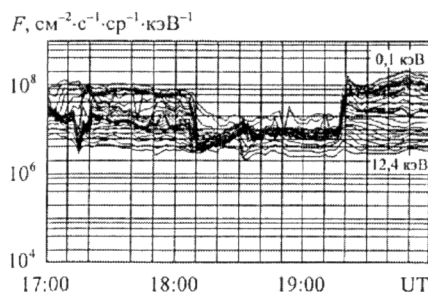


Рис. 4. Характерное изменение энергетического распределения электронов при прохождении КА через тень Земли

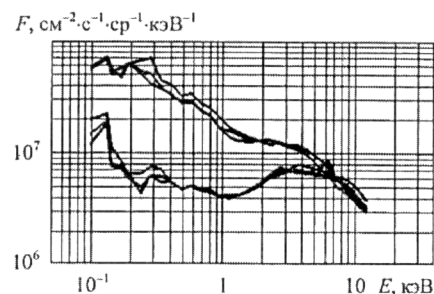


Рис. 5. Регистрируемые энергетические спектры электронов до входа КА в тень Земли (верхние кривые) и при пересечении тени (нижние кривые)

В тени Земли наблюдается резкое снижение электронов малых энергий – распределение электронов по энергиям становится близким к однотемпературному с пиком в области 10 кэВ (рис. 6, а). А в спектре протонов наблюдается резкий пик, соответствующий потенциалу КА, протоны меньших энергий отсутствуют, распределение тоже становится близким к однотемпературному (рис. 6, б) [8].

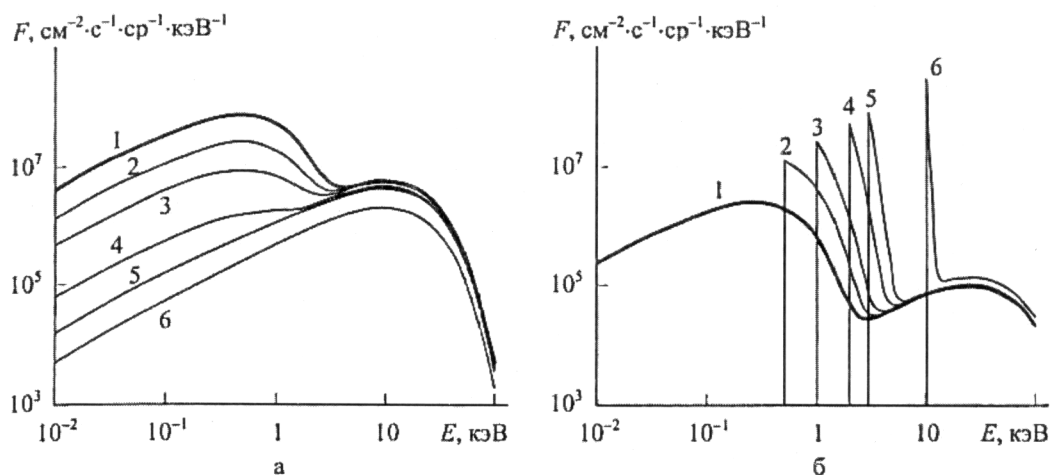


Рис. 6. Пример разряда в условиях инверсного распределения потенциала

Таким образом, в условиях инверсного распределения потенциала двухтемпературное распределение электронов и протонов в плазме можно заменить моноэнергетическими пучками со следующими параметрами.

Таблица 1

Параметры электронных и ионных пучков

Параметр	Электроны	Протоны
Энергия пучка, кэВ	10–30	2–10
Плотность тока, нА/см ²	≈ 0,1	≈ 0,1

Экспериментальная установка

Экспериментальная аппаратура должна обеспечивать:

1. Степень вакуума порядка 10^{-6} Торр;
2. Одновременное облучение образца ионным и электронным пучками с вышеустановленными параметрами пучков;
3. Измерение поверхностного потенциала образца, потенциала подложки, а также импульсного разрядного тока с разрешением 10^{-9} с;
4. Схему инверсного распределения потенциала.

Общая структурная схема установки показана на рис. 7.

В соответствии с условиями проведения эксперимента и поставленными задачами, была выбрана следующая аппаратура:

1. Для обеспечения вакуума порядка 10^{-6} Торр система вакуумной откачки собрана на основе газоразрядного насоса типа «НОРД-200» и форвакуумного насоса типа «2НВР-5ДМ». Система откачки оснащена ловушкой для защиты от масляных и водяных паров.
2. Параметры электронной и ионной пушек приведены в табл. 2.



Рис. 7. Структурная схема испытательного стенда

Таблица 2

Параметры электронной и ионной пушек

Параметр	Электронная пушка	Протонная пушка
Энергия пучка, кэВ	20–40	2–10
Плотность тока, нА/см ²	0,01–100	0,01–10

В условиях инверсного распределения потенциала, электроны должны преодолеть тормозящее поле отрицательной электрической подложки и иметь энергии при подлете к диэлектрику в соответствии с табл. 1.

Допустим, что КА в тени заряжен до потенциала минус 10 кВ. Тогда энергия электронного пучка в экспериментальной установке составляет 20 кВ, а протонного пучка – 0 кВ. Таким образом, ускоряющее напряжение для электронов и протонов составляет 10 кВ.

Предложенные нами параметры согласуются с проектом стандарта, где указаны следующие параметры облучения диэлектриков: моноэнергетический электронный пучок с энергией 20–40 кэВ и плотностью тока 0,1–1 нА/см² [5].

3. В качестве датчиков разрядного тока применяются токовые датчики Пирсона модели 2877 или 2878 или иные малогабаритные датчики типа пояса Роговского с наносекундным разрешением и возможностью измерения импульсных токов до 100 А с шириной импульса 50 нс – 200 мкс.

Ток первого канала – это реальный ток и ток смещения, возникающий при развитии разряда «поверхность диэлектрика-плазма». Данный ток имеет высокочастотную составляющую.

4. Для реализации инверсного распределения потенциала используется постоянный источник регулируемого напряжения от 2 до 10 кВ. Данный источник подсоединен к металлической подложке измерительной ячейки.

Электрическая схема подключения источника напряжения и измерительного датчика показана на рис. 8.

Внешняя емкость С моделирует емкость реального КА (порядка 100 пФ), а также отражает способность диэлектрического материала накапливать энергию. Емкость образца, а также соединительных кабелей может превышать емкость реального КА. Поэтому суммарная емкость может быть принудительно задана в пределах от 0 до 100 мкФ.

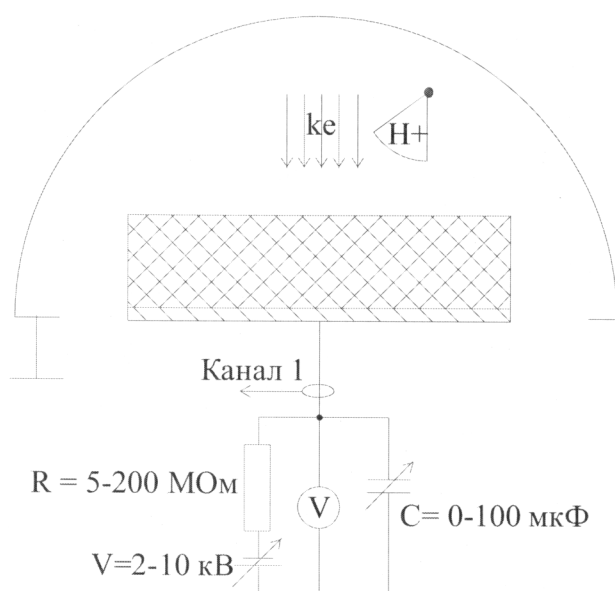


Рис. 8. Электрическая схема испытательного стенда

При проведении испытаний рекомендуется использовать высокоомные материалы, такие как: оргстекло, эпоксидная смола, керамические материалы, тефлон, каптон. Эти материалы имеют малую проводимость и легко заряжаются [5].

В целях изучения процессов заряжения высокоомных диэлектриков в условиях инверсного распределения потенциала были сформулированы следующие рабочие гипотезы:

- 1) включение в методику испытаний заряджение ионным пучком, наряду с электронным, позволяет более точно воспроизводить натурные условия на КА, находящемся в тени;
- 2) в условиях инверсного распределения потенциала под воздействием электронного и ионного пучков генерируется большее количество электростатических разрядов;
- 3) испытания диэлектриков космического применения должны проводиться как в условиях нормального, так и инверсного распределения потенциала.

Заключение

В заключении следует отметить, что проблема возникновения разрядных процессов на диэлектриках КА в условиях инверсного распределения потенциала слабо изучена. В данной статье предложен комплекс аппаратуры, который позволяет:

- имитировать явление инверсного распределения потенциала,
- проводить испытания диэлектриков космического применения в условиях инверсного распределения потенциала;
- проводить измерения параметров электризации и разрядных процессов при испытаниях диэлектриков космического применения в условиях инверсного распределения потенциала.

Список литературы

1. Romero, M. and Levy, L., Internal Charging and Secondary Effects, in The Behaviour of Systems in the Space Environment (Proc. NATO Advanced Study Institute 245, Kluwer Academic Publishers), R.N. DeWitt et al. (eds.), 1993. – P. 565–580.
2. Robin Gubby, John Evans. Space Weather Anomalies on Telesat Satellites & Related Design Issues, 2000.
3. Лабораторные исследования эффектов электризации космических аппаратов / В.М. Антонов, А.Г. Пономаренко. – Новосибирск: Наука. Сиб. Отд-ние, 1992. – 115 с.

4. Н.И. Ягушкин, А.И. Сергеев, Э.А. Гостищев. Исследование радиационно-электрических процессов в диэлектриках при облучении электронами с энергиями до 100 кэВ // Модель космоса. Т.2.: Воздействие космической среды на материалы и оборудование космических аппаратов / под ред. Л.С. Новикова. – 2007. – 1144 с.
5. Проект стандарта Европейской ассоциации по космической стандартизации» European Cooperation for Space Standardization ECSS-E-20-06 (последняя версия Draft 2 от 17 января 2006).
6. S. Lai, M. Tautz, and K. Tobiska. Effects of Solar UV on Spacecraft Charging in Sunlight // 44th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, Reno, Nevada, Jan. 9–12, 2006.
7. Fujii, A.; Onodera, Noriyoshi; Murakami et al. Charging Analysis of Engineering Test Satellite VIII (ETS-VIII) of Japan // Spacecraft Charging Technology, Proceedings of the Seventh International Conference. Edited by R.A. Harris, European Space Agency, ESA SP-476, 2001., p.183.
8. Л.С. Новиков, В.Н. Милеев, К.К. Крупников, А.А. Маклецов. Электризация КА в магнитосферной плазме // Модель космоса. Т.2.: Воздействие космической среды на материалы и оборудование космических аппаратов / под ред. Л.С. Новикова. – 2007. – 1144 с.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ И УСЛОВИЙ ПРОСВЕЧИВАНИЯ

А.И. Буллер, В.К. Кулешов
Россия, 634028, г.Томск, ул. Савиных 7
«НИИ ИН» Лаборатория № 10
тел. 89069570963

*В данной работе были проведены исследования по теме:
«Оптимизация параметров люминесцентных преобразователей и условий
просвечивания». Поставлены эксперименты, на основании которых проводились
заключения по оптимальности параметров люминесцентных экранов. Проводи-
лась оценка контраста вследствие использования растровой решетки.*

В настоящее время эта задача является более чем актуальной вследствие широкого применения методов неразрушающего контроля в области мягкого рентгеновского излучения. В частности для изделий малых толщин и плотности, для диагностики в медицине и т. д.

Оптимизация параметров просвечивания необходима для извлечения максимального количества информации из теневого рентгеновского изображения, увеличения контраста, четкости и яркости изображения с целью повышения качества контроля исследуемого объекта, а также максимально облегчения обработки данных различными цифровыми системами.

Поставленная задача достигалась подбором нагрузки люминофоров обеспечивающих оптимальные параметры яркости и разрешающей способности для выбранного диапазона рентгеновского излучения. А также определением уменьшения влияния рассеянного излучения на изображение вследствие использования отсевающего раstra.

При выборе типа экрана преобразователя из следующих экранов (CsI(Tl), МФЭ (Метало-флуоресцентный экран), ZnCdS(Ag), LaOS₃(Tb)) был выбран CsI(Tl), который удовлетворяет следующим требованиям:

- 1) Совпадением области чувствительности со спектральным выходом ПЗС матрицы.
 $\lambda_{\text{макс}} = 540 \text{ нм.}$