

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТЫ КОСМИЧЕСКОГО СПЕКТРА
ДЛЯ РАДИАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**

Чуликов В.В.

Научный руководитель Беспалов В.И., к.ф.-м.н., доцент

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: Vladimir-chulikov22@yandex.ru

**MONTE CARLO CALCULATIONS OF THE ELECTRONIC SPECTRA OF DIFFERENT
THICKNESS ALUMINUM TARGET ON WHICH TO DETERMINE THE GEOMETRY
OF THE TARGET FOR THE SIMULATION OF SPACE ELECTRON SPECTRUM
IN THE GEOSTATIONARY ORBIT BY MONOENERGETIC ELECTRON SOURCES.**

Chulikov V.V.

Scientific Supervisor: docent Bespalov V.I.

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenina str.,30, 634050

E-mail: Vladimir-chulikov22@yandex.ru

В космическом пространстве материалы и элементы космических аппаратов (КА) постоянно находятся в радиационном поле с высоким уровнем излучения. На КА в полете воздействуют потоки электронов, протонов и ионов высокой энергии, космическая плазма, солнечное электромагнитное излучение. В результате взаимодействия КА с окружающей космической плазмой на его поверхности образуется электрический заряд, знак и величина которого определяются соотношением первичных токов электронов и ионов плазмы и вторично-эмиссионных токов с поверхности КА, включая ток фотоэлектронной эмиссии, вызываемой солнечным излучением. Накопленный диэлектрическими материалами КА электронный заряд может создавать высокую напряженность электрического поля и вызывать электростатические разряды, влияющие на стабильность работы бортового оборудования КА. Электрическое заряджение КА оказывает особенно серьезное неблагоприятное влияние на работу бортовых систем при запусках КА на геостационарную орбиту с высотой $\sim 36\ 000$ км, где значения потенциалов на КА могут достигать значений $-(10-20)$ кВ. При таких потенциалах электростатические разряды могут приводить к разрушению элементов конструкции КА [1].

Для прогнозирования поведения различных материалов КА во время полета и увеличения сроков работы оборудования КА проводятся радиационные испытания. Например, такие испытания проводятся для прогнозирования радиационной стойкости изделий, расположенных на внешней поверхности КА: солнечные элементы из кремниевых фотопреобразователей, терморегулирующие покрытия, оптические системы ориентации, лазерные зеркала. Радиационные испытания проводятся как в натуральных, так и в лабораторных условиях на Земле. Но в лабораторных условиях они проводятся, как правило, с заменой корпускулярных излучений со сплошным спектром, как у космического (SPACE) спектра, моноэнергетическими излучениями, которые генерируют ускорители заряженных частиц или радионуклидные источники. Не всегда такая замена позволяет правильно прогнозировать поведение материалов, находящихся в космическом пространстве. Поэтому разрабатываются специальные устройства, позволяющие преобразовывать моноэнергетический электронный (или протонный) пучок ускорителя в непрерывный спектр, соответствующий натурному SPACE спектру [2, 3].

В данном докладе представлены результаты численного моделирования методом Монте-Карло интегрального электронного спектра на геостационарной орбите, который должен быть получен в разрабатываемой в НИИ ИН ТПУ вакуумной камере с двумя электронными пушками на 300 кэВ и 100 кэВ.

Спектры электронов, полученные в лабораторных условиях (LAB спектры) экспериментально (или рассчитанные) – это, как правило, спектры за различными мишенями (фольгами). Особенностью LAB спектров является наличие максимума с быстрым уменьшением числа электронов с энергиями более и менее наиболее вероятной энергии. Электронный SPACE спектр имеет другую форму. В нем число электронов монотонно возрастает с уменьшением их энергии. Необходимую форму электронного LAB спектра можно получить, пропуская электронный пучок ускорителя через сложную мишень переменной толщины. Для определения геометрии такой мишени необходимо иметь набор элементарных дифференциальных электронных спектров для простых однородных мишеней разных толщин [3].

Расчеты элементарных электронных LAB спектров за алюминиевыми рассеивающими фольгами различной толщины выполнены методом Монте-Карло с помощью программы «Компьютерная лаборатория» (PCLab) в режиме BARRIER [4,5]. Все спектры рассчитаны для реальной геометрии вакуумной камеры, которая проектируется. Длина цилиндрической камеры и диаметр равны 100 см. Стенки камеры выполнены из стали. Электронные пушки обоих источников расположены симметрично, диаметры входных окон для электронных пучков равны 140 мм. Электронные пучки обоих источников были изотропными в конусе с половинным углом 10° , а центральная ось каждого пучка составляла угол 25° относительно нормали к рассеивающей фольге. Спектры электронов, выходящих из фольги, рассчитывались в цилиндрической области с радиусом 200 мм относительно центральной оси камеры на расстоянии 30 см от фольги. Для источника с энергией 300 кэВ расчеты электронных спектров проведены для следующих толщин рассеивающих фольг: 40, 80, 120, 160, 200, 240, 280, 300, 320 и 340 мкм.

На рис. 1 приведены несколько рассчитанных электронных спектров для различных толщин рассеивающей фольги. Специальные расчеты показали, что причиной наличия у спектров высокоэнергетического «хвоста» является рассеяние электронов, отраженных рассеивающей фольгой, и затем стенками вакуумной камеры.

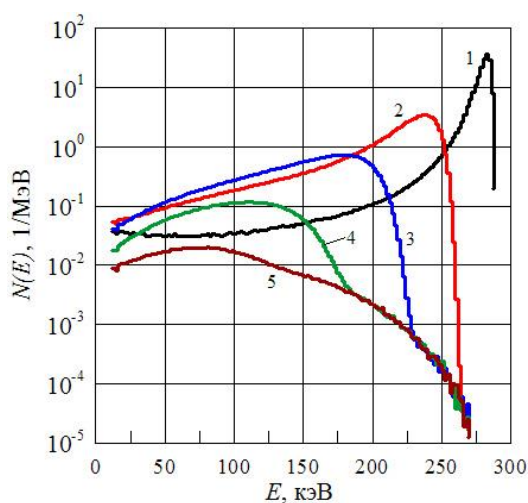


Рис. 1. Токовые спектры электронов для различных толщин рассеивающей фольги: 1 – 40 мкм, 2 – 120 мкм, 3 – 200 мкм, 4 – 280 мкм, 5 – 340 мкм

Моделирование результирующего LAB спектра с необходимой формой из набора предварительно рассчитанных спектров от фольг различной толщины и определение геометрии рассеивающей мишени проводилось в специальной программе SPECTRUM, которая является частью программы PCLab (дополнительный режим работы программы PCLab). Один из возможных положительных результатов моделирования результирующего (суммарного) интегрального электронного спектра из набора элементарных дифференциальных спектров для разрабатываемой вакуумной камеры представлен на рис. 2.

Удовлетворительное согласие между интегральными LAB и SPACE спектрами в диапазоне энергий от 10 кэВ до 250 кэВ получено для двух источников с энергиями 300 кэВ и 50 кэВ и с набором из 8 элементарных спектров от источника 300 кэВ с определенными вкладами в результирующий спектр. От источника 50 кэВ использовался один спектр.

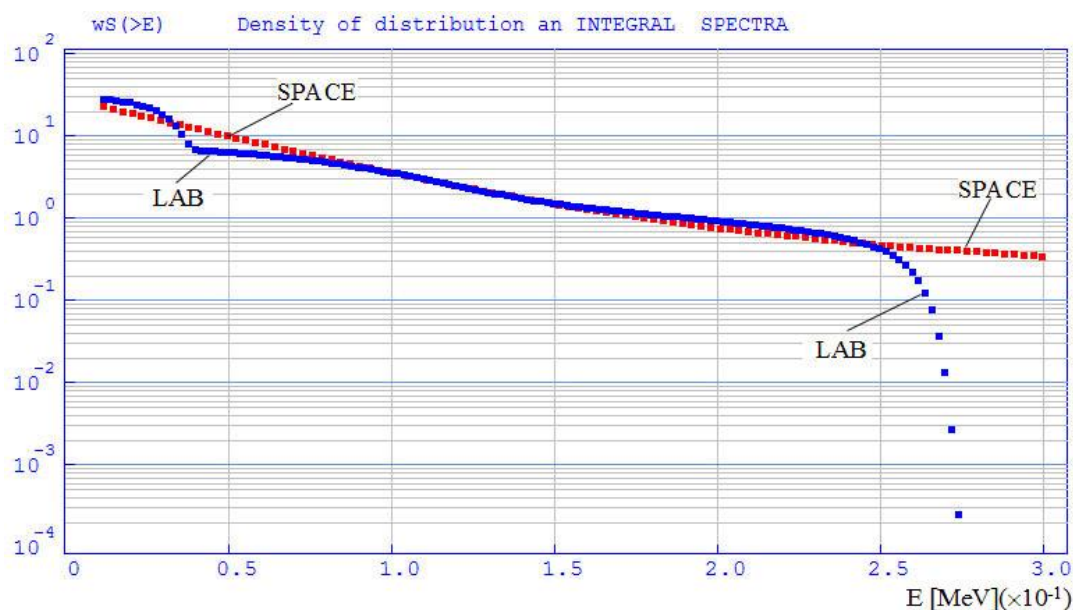


Рис. 2. Сравнение интегрального SPACE спектра и интегрального результирующего LAB спектра электронов для проектируемой камеры с двумя источниками

Расчеты показали, что нельзя добиться хорошего совпадения спектров при низких энергиях (менее ~ 50 кэВ) без применения второго низкоэнергетического источника.

Следует отметить, что геометрия результирующей фольги является сложной, так как из-за быстрого уменьшения числа электронов с увеличением толщины фольги сильно различаются вклады в результирующий спектр от тонких и толстых участков этой фольги.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Новиков Л.С. Милев В.Н., Крупников К.К., Макленцов А.А. Электризация космических аппаратов в магнитосферной плазме. В кн.: Модель космоса. 8-е изд. Под ред. проф. Панасюка М.И. и Новикова Л.С. Т. 2. Воздействие космической среды на материалы и оборудование космических аппаратов. М.: КДУ, 2007. – с. 236–275.
- Акишин А.И. Космическое материаловедение. Учеб. пособие. М.: НИИЯФ МГУ, 2007. – 209 с.
- Dirassen B., Lery L., Reulet R., Payan D. The SIRENE facility – an improved method for simulating the charge of dielectrics in a charging electron environment. Proceedings of the 9th International Symposium on Materials in Space Environment : 16-20 June 2003, Noordwijk, The Netherlands. P. 351–358.
- Беспалов В.И. Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом: учебное пособие. – 5-е изд. доп., – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 427 с.
- Беспалов В.И. Дистрибутив программы «Компьютерная лаборатория». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://portal.tpu.ru/SHARED/b/BVI/pclab>