

УДК 629.78

Алгоритмы расчета частоты одиночных эффектов от радиоизотопных источников ионизирующего излучения

Черников Павел Сергеевич^(*)

chernikovps@laspace.ru

АО «НПО Лавочкина», Химки, Московская обл., Россия

Аннотация. Рассматриваются алгоритмы, реализованные при разработке программного комплекса для расчета характеристик одиночных эффектов (сбоев и отказов) в электрорадиоизделиях от потока нейтронов, создаваемых бортовыми радиоизотопными источниками тепла и электроэнергии. Разработанный метод позволяет выполнять расчеты частоты одиночных эффектов в радиоэлектронной аппаратуре в зависимости от числа и мощности источников, их взаимного расположения с применением трехмерных моделей бортовой аппаратуры и космического аппарата.

Ключевые слова: алгоритмы расчета, ионизирующее излучение, одиночные эффекты — сбои и отказы, интегральные микросхемы, космический аппарат, радиоизотопный источник, нейтроны

Введение. Успешное функционирование космических аппаратов (КА) возможно лишь при условии обеспечения необходимого уровня стойкости бортовой аппаратуры (БА) к воздействию ионизирующих излучений, вызывающих радиационные эффекты различной природы. С целью поддержания тепловых режимов работы и питания радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) на автоматических межпланетных КА применяются радиоизотопные источники ионизирующих излучений (ИИИ) — тепловые блоки и электрогенераторы, как правило, на основе диоксида плутония-238. В РЭА за счет мощных потоков нейтронов от таких источников возникают, помимо дозовых эффектов, случайные одиночные эффекты (ОЭ) (сбои и отказы), которые могут доминировать в качестве разрушающего фактора по сравнению с влиянием излучений космического пространства [1]. Доклад посвящен методике определения частоты и вероятности возникновения ОЭ от нейтронов ИИИ в рамках создаваемого программного комплекса «LocalDose&SEEv.3».

Материалы и методы; результаты. Радиоизотопные источники на основе диоксида плутония-238 создают мощный поток нейтронов в диапазоне энергий от 1 до 100 МэВ, вызывающий ОЭ в БА. В случае отсутствия надежных данных о параметрах аппроксимации зависимости сечений ОЭ в электрорадиоизделиях (ЭРИ) (как правило, это интегральные микросхемы (ИМС) высокой степени интеграции) от энергии нейтронов расчет частоты и числа ОЭ проводят с использованием сечений насыщения по формулам [2]:

$$\nu = \sigma_0 \cdot f_n(\geq E_0); N = \sigma_0 \cdot F_n(\geq E_0),$$

где σ_0 — сечение насыщения ОЭ от нейтронов, см²; $f_n(\geq E_0)$ и $F_n(\geq E_0)$ — интегральные энергетические спектры средней плотности потока нейтронов,

$\text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$, и потока нейтронов, см^{-2} , соответственно; E_0 — пороговое значение энергии нейтронов (МэВ), ниже которого ОЭ не наблюдаются.

Для расчета максимальной плотности потока нейтронов одного ИИИ на различных расстояниях от него используем зависимость потока от расстояния до точечного источника (R), а именно

$$fn(R) = f_0 / 4\pi R^2, \quad (1)$$

где f_0 — выход нейтронов (1/с).

Использование формулы (1) для оценки в первом приближении плотности потока нейтронов в конкретной локации отражает только «геометрический» фактор рассеяния потока нейтронов по мере удаления от источника. Для более точных расчетов реализуется алгоритм учета поглощения нейтронов элементами КА при распространении потока нейтронов от радиоизотопного источника до расчетной точки.

Заключение. В докладе описаны алгоритмы, позволяющие определить частоту ОЭ в ЭРИ при воздействии потока нейтронов от ИИИ с учетом параметров чувствительности ИМС, числа и мощности радиоизотопных источников, их взаимного расположения и ослабления потоков нейтронов конструкциями КА с применением трехмерной модели.

Список источников

- [1] Хамидуллина Н.М., Зефилов И.В., Черников П.С. Анализ одиночных эффектов, создаваемых потоком нейтронов от бортовых радиоизотопных источников в радиоэлектронной аппаратуре марсианских посадочных модулей. *Вестник НПО им. С.А. Лавочкина*, 2022, № 1, с. 26–31.
- [2] *Аппаратура, приборы, устройства и оборудование космических аппаратов. Методы оценки стойкости к воздействию заряженных частиц космического пространства по одиночным сбоям и отказам.* РД 134-0139-2005, 2009, 78 с.