

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО РАЗВИТИЮ МЕТОДА ОЦЕНКИ РАДИАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ К ОДИНОЧНЫМ ЭФФЕКТАМ

К.Г. Сизова¹, Ю.А. Ветринский², П.К. Скоробогатов³, М.О. Прыгунов¹

¹ООО «НПЦ «Гранат»
г. Санкт-Петербург, Россия
e-mail: ksizova@npcgranat.ru

²Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
г. Санкт-Петербург, Россия

³Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
г. Москва, Россия

Предложен вариант развития существующего метода оценки стойкости радиоэлектронной аппаратуры к воздействию заряженных частиц космического пространства по одиночным эффектам, позволяющий учитывать функциональную сложность аппаратуры и эффективность применения современных средств парирования отказов и сбоев. Приведены результаты сравнения показателей стойкости полезной нагрузки космического аппарата, полученные на базе существующего и модифицированного методов.

Ключевые слова: вероятность, отказ, сбой, ионизирующее излучение, космический аппарат, одиночные эффекты, радиационная стойкость, радиоэлектронная аппаратура, расчетно-экспериментальный метод оценки.

Suggestions on the Evaluation Method for Spacecraft Electronic Equipment Radiation Hardness to Single Event Effects

K.G. Sizova¹, Yu.A. Vetrinskiy², P.K. Skorobogatov³, M.O. Prygunov¹

¹LLC "NPC "Granat"
Saint Petersburg, Russia
e-mail: ksizova@npcgranat.ru

²Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University
Saint Petersburg, Russia

³National Research Nuclear University "MEPhI"
Moscow, Russia

A scenario for the existent evaluation method for electronic equipment hardness to space environment charged particle influence on single event effects, which allows considering functional complexity of the hardware and the application efficiency of the sophisticated failure protection tools, is suggested. The comparison results of the spacecraft payload hardness obtained on the basis of the existent and modified methods are introduced.

Keywords: probability, failure, error, ionizing radiation, spacecraft, single event effects, radiation hardness, electronic equipment, calculation and experimental evaluation method.

Важнейшим этапом проектирования радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) космических аппаратов (КА) является оценка ее устойчивости к воздействию ионизирующих излучений (ИИ) космического пространства (КП). Оценка стойкости РЭА к одиночным радиационным эффектам (ОРЕ) осуществляется расчетно-экспериментальным методом [1]. С момента утверждения документа [1] функциональная сложность РЭА и возможности

средств парирования последствий ОРЕ существенно возросли, что не позволяет производить данным методом достоверную оценку стойкости современной РЭА. Неточный расчет может привести к преждевременным отказам РЭА во время эксплуатации или возрастанию ее сложности и стоимости из-за неоправданной необходимости использования средств парирования сбоев и отказов. Таким образом, появилась необходимость развития существующих

ющего метода оценки радиационной стойкости РЭА КА к воздействию отдельных заряженных частиц (ОЗЧ) КП по одиночным сбоям и отказам с целью повышения его достоверности.

Существующий метод оценки основан на предположении, что стойкость аппаратуры определяется самым «слабым» звеном в последовательной структурной схеме соединения элементов системы. Такой подход корректен при оценке стойкости функционально простых, нерезервированных систем без учета восстановления работоспособности. Закон распределения вероятностей возникновения ОРЭ принимается экспоненциальным с постоянными величинами интенсивностей сбоев и отказов. В качестве средства парирования отказов может учитываться только резервирование – введением параллельных соединений в последовательную структурную схему. Все это позволяет провести очевидные параллели с расчетом эксплуатационных показателей РЭА и использовать для развития метода оценки стойкости к ОРЭ современный математический аппарат теории надежности и соответствующие программные средства.

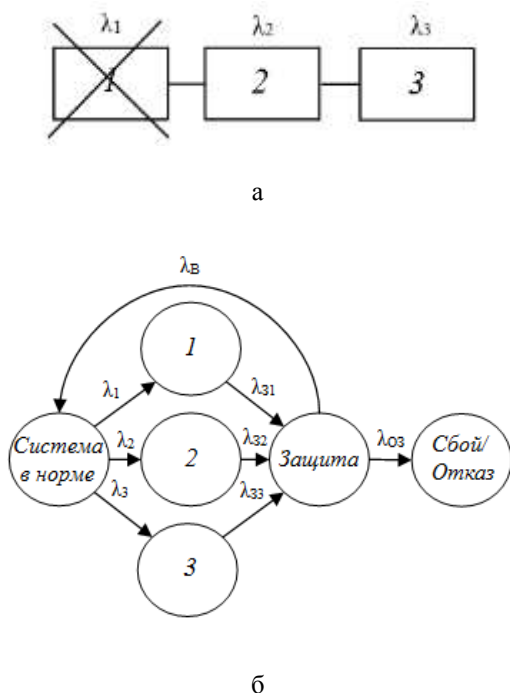


Рис. 1. Описание функционирования системы с помощью существующего (а), где: 1, 2, 3 – элементы системы; λ_i – частота ОРЭ элементов i и модифицированного (б) методов, где: «система в норме» – работоспособное состояние системы; 1, 2, 3 – состояния возникновения ОРЭ в 1, 2, 3 элементе системы; «защита» – состояние срабатывания защиты от последствий ОРЭ; «сбой/отказ» – неработоспособное состояние всей системы; λ_i – частота ОРЭ элементов i ; λ_{3i} – частота срабатывания защиты элементов i ; λ_B – частота восстановлений; λ_{03} – частота отказа срабатывания защиты

В работе [2] проведен сравнительный анализ методов расчета показателей надежности РЭА. Показано, что для расчета стойкости к ОРЭ сложно-функциональной восстанавливаемой РЭА КА в

дополнение к методу [1] целесообразно использовать методы марковского анализа [3]. В отличие от структурных схем марковские цепи позволяют определять показатели стойкости при выполнении системой определенных функций.

Качественное сравнение существующего и предлагаемого метода может быть показано на следующем примере. Пусть имеется система из трех элементов, защищенных схемой парирования последствий определенно вида ОРЭ. Существующий метод предписывает построение структурной схемы данной системы, которая приведена на рис. 1, а. В такой конфигурации возникновение ОРЭ в любом из элементов однозначно отразится на функционировании системы. Доступных инструментов для оценки эффективности применения средств парирования, за исключением резервирования, здесь не предусмотрено. При использовании предлагаемого метода строится граф состояний системы при возникновении ОРЭ, это позволяет учитывать дисциплину обслуживания любого элемента при использовании схемы парирования (см. рис. 1, б).

Использование математического аппарата теории надежности дает возможность оценки эффективности применения помехоустойчивого кодирования в цифровых интегральных схемах (ИС) для защиты от одиночных сбоев – при этом канал передачи данных описывается как двоичный симметричный канал. Появляется возможность оценки вероятности пропуска символа, основанной на информации о корректирующей способности (n, k) применяемого помехоустойчивого кода. Например, вероятность сбоя в случае применения кода Хэмминга может быть определена с помощью выражения

$$P_{ХЭМ} = 1 - \{1 + (1 - p_1)^{n+k} - [1 - p_1(1 - p_1)^{n+k-1}]^{n+k}\}^N.$$

Таким образом, модифицированный метод позволяет проводить не только структурный, но и функциональный расчет стойкости восстанавливаемой системы. Метод также позволяет одновременно учитывать различные типы сбоев и отказов элементов системы, влияющих на выполнение отдельных функций.

Сравнительный анализ существующего и модифицированного метода проводился на примере оценки стойкости к ОРЭ полезной нагрузки (ПН) наноспутника космической системы автоматической идентификации судов (АИС), разработанной в СПбПУ в рамках совместного проекта с Чжэцзянским университетом (КНР). Аппаратура ПН содержит приемник АИС, блоки управления, телеметрии и доплеровской фильтрации (рис. 2).

Комплекующие электрорадиоизделия (ЭРИ) выбирались на этапе проектирования ПН на основе данных по их радиационной стойкости из [4-6]. Приемник АИС использован в готовом исполнении (изготовитель – ОАО «Транзас», СПб).



Рис. 2. Блок-схема ПН (БКУ – бортовой комплекс управления)

Оценка показателей стойкости ПН основана на результатах испытаний комплектующих ЭРИ. В таблице 1 приведены показатели стойкости использованных в ПН ЭРИ к ОРЭ, определенные методом [1] для случаев движения КА по солнечно-синхронной (ССО) и низкой круговой орбите (НКО).

Таблица 1

Результаты оценки показателей стойкости комплектующих

Типономинал	ССО (высота 550 км, наклонение 98°)			НКО (высота 400 км, наклонение 51,5°)		
	Частота сбоев, 1/день	Частота отказов, 1/день	ВБР при САС = 1 год	Частота сбоев, 1/день	Частота отказов, 1/день	ВБР при САС = 1 год
RM24C128	$2,28 \cdot 10^{-5}$ (SEFI/Хранение)	$1,1 \cdot 10^{-13}$ (SEL) $6,12 \cdot 10^{-13}$ (KO)	$> 0,999$ (SEL) $> 0,999$ (KO)	$1,29 \cdot 10^{-4}$ (SEFI/Хранение)	$2,76 \cdot 10^{-14}$ (SEL) $1,48 \cdot 10^{-13}$ (KO)	$> 0,999$ (SEL) $> 0,999$ (KO)
	$4,23 \cdot 10^{-5}$ (SEU/Запись-чтение)			$2,38 \cdot 10^{-4}$ (SEU/Запись-чтение)		
	$5,99 \cdot 10^{-2}$ (SEFI/ Запись-чтение)			$8,59 \cdot 10^{-3}$ (SEFI/ Запись-чтение)		
Atmega168-20AU	$1,92 \cdot 10^{-3}$ (SEU, SEFI)	$1,88 \cdot 10^{-3}$ (SEL), $2,4 \cdot 10^{-13}$ (KO)	0,503 (SEL), $> 0,999$ (KO)	$3,45 \cdot 10^{-4}$ (SEU, SEFI)	$3,45 \cdot 10^{-4}$ (SEL), $8,52 \cdot 10^{-14}$ (KO)	0,881 (SEL), $> 0,999$ (KO)
STM32F105	$4,33 \cdot 10^{-4}$ (SEU, SEFI)	$3,9 \cdot 10^{-1}$ (SEL), $2,94 \cdot 10^{-9}$ (KO)	$< 0,001$ (SEL), $> 0,999$ (KO)	$7,71 \cdot 10^{-5}$ (SEU, SEFI)	$6,67 \cdot 10^{-2}$ (SEL), $3,32 \cdot 10^{-14}$ (KO)	$< 0,001$ (SEL), $> 0,999$ (KO)
AD8432ACPZ	$1,81 \cdot 10^{-8}$ (SET)	$2,419 \cdot 10^{-9}$ (KO)	0,999 (KO)	$4,16 \cdot 10^{-9}$ (SET)	$6,19 \cdot 10^{-10}$ (KO)	0,999 (KO)
SA612AD	$3,13 \cdot 10^{-8}$ (SET)	$2,419 \cdot 10^{-9}$ (KO)	0,999 (KO)	$7,38 \cdot 10^{-9}$ (SET)	$6,19 \cdot 10^{-10}$ (KO)	0,999 (KO)
ГК217УН-160М-15Е-6/GR-2	$1,18 \cdot 10^{-12}$ (SET)	$1,18 \cdot 10^{-12}$ (KO)	0,999 (KO)	$2,95 \cdot 10^{-13}$ (SET)	$2,95 \cdot 10^{-13}$ (KO)	0,999 (KO)
ISO1050	$9,84 \cdot 10^{-10}$ (SEU)	$9,84 \cdot 10^{-10}$ (SEL, KO)	0,999 (SEL, KO)	$2,27 \cdot 10^{-10}$ (SEU)	$2,27 \cdot 10^{-10}$ (SEL, KO)	0,999 (SEL, KO)
LM317	$8,35 \cdot 10^{-10}$ (SET)	$8,35 \cdot 10^{-10}$ (KO)	0,999 (KO)	$1,97 \cdot 10^{-10}$ (SET)	$1,97 \cdot 10^{-10}$ (KO)	0,999 (KO)
LM25574	$9,072 \cdot 10^{-1}$ (SET)	$2,48 \cdot 10^{-3}$ (SEL), $2,51 \cdot 10^{-5}$ (KO)	0,404 (SEL), 0,990 (KO)	$1,45 \cdot 10^{-1}$ (SET)	$4,58 \cdot 10^{-4}$ (SEL), $1,83 \cdot 10^{-5}$ (KO)	0,846 (SEL), 0,993 (KO)
ADF4116	$4,88 \cdot 10^{-9}$ (SEU)	$4,88 \cdot 10^{-9}$ (SEL, KO)	0,999 (SEL, KO)	$1,18 \cdot 10^{-9}$ (SEU)	$1,18 \cdot 10^{-9}$ (SEL, KO)	0,999 (SEL, KO)
TLV70033	$6,04 \cdot 10^{-1}$ (SET)	$1,04 \cdot 10^{-9}$ (SEL, KO)	0,999 (SEL, KO)	$9,82 \cdot 10^{-2}$ (SET)	$2,46 \cdot 10^{-10}$ (SEL, KO)	0,999 (SEL, KO)
CVCO33CL-0125-0200	$1,18 \cdot 10^{-12}$ (SET)	$1,18 \cdot 10^{-12}$ (KO)	0,999 (KO)	$2,95 \cdot 10^{-13}$ (SET)	$2,95 \cdot 10^{-13}$ (KO)	0,999 (KO)

ВБР – вероятность безотказной работы.

САС – срок активного существования.

KO – катастрофический отказ.

SEL (single event latchup) – тиристорный эффект.

SEU (single event upset) – одиночное переключение.

SEFI (single event functional interrupts) – одиночное функциональное прерывание.

SET (single event transients) – одиночные эффекты переходной ионизационной реакции.

Поскольку некоторые ЭРИ подвержены ОРЭ, в ряде блоков ПН предусмотрены схемы

парирования:

- в блоке управления реализовано CRC коди-

рование и повторная передача для снижения влияния последствий SEU-эффектов на работоспособность ПН, сторожевой таймер для парирования SEFI-эффектов, схема отключения питания для парирования SEL-эффектов, а также сеансовый режим работы для снижения влияния КО;

- в блоке телеметрии реализовано полное резервирование, CRC кодирование и дублирование данных для снижения влияния последствий SEU-эффектов во время чтения и SEFI-эффектов при чтении и записи, а также схема парирования SEL-эффектов;
- в блоке фильтрации реализована схема парирования SEL-эффектов;
- в цепи питания ПН для защиты от SET-эффекта установлены TVS диоды (SET-эффект не поддается аналитическому расчету [2] и в данной работе не рассматривается).

После расчета показателей стойкости ЭРИ и принятия мер по парированию последствий ОПЭ в отдельных блоках проведена оценка показателей стойкости аппаратуры в целом (требования по стойкости: ВБР $\geq 0,999$; частота сбоев $< 1 \cdot 10^{-6}$ сбоев в сутки).

Для оценки показателей стойкости аппаратуры к воздействию ОЗЧ КП по ОПЭ существующим методом разработаны структурные схемы блоков ПН, представленные на рис. 3-6.

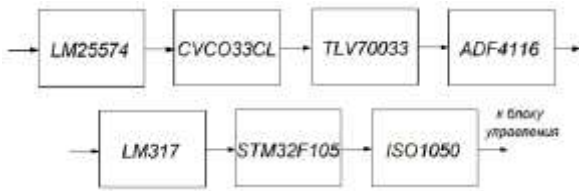


Рис. 3. Структурная схема приемника АИС при приеме сигналов судов

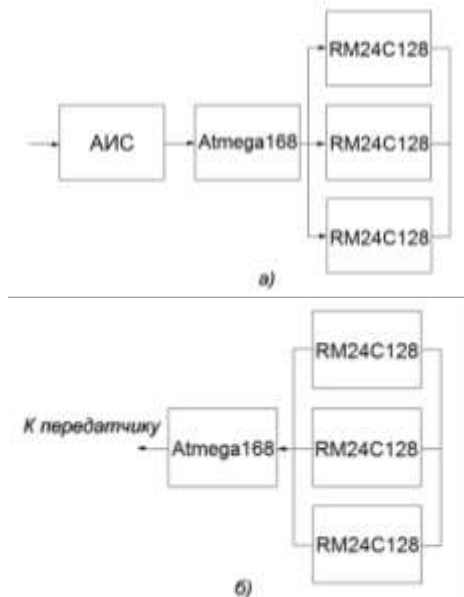


Рис. 4. Структурная схема блока управления: а – операция приема сигналов и их записи в память; б – операция чтения сигналов из памяти и их отправки в радиочастотный тракт

В результате расчета существующим методом выявлено, что на работоспособность и функционирование аппаратуры будут влиять следующие ОПЭ: SEU, SEFI, SEL-эффекты и КО. Вследствие того, что метод не учитывает эффективность применения защиты от ОПЭ и особенности функционирования системы в целом, оценка стойкости ПН существующим методом [1] показала неудовлетворительный результат – показатели стойкости ПН не соответствуют заявленным требованиям. Расчет показал, что ПН откажет менее чем через сутки после вывода КА на орбиту.

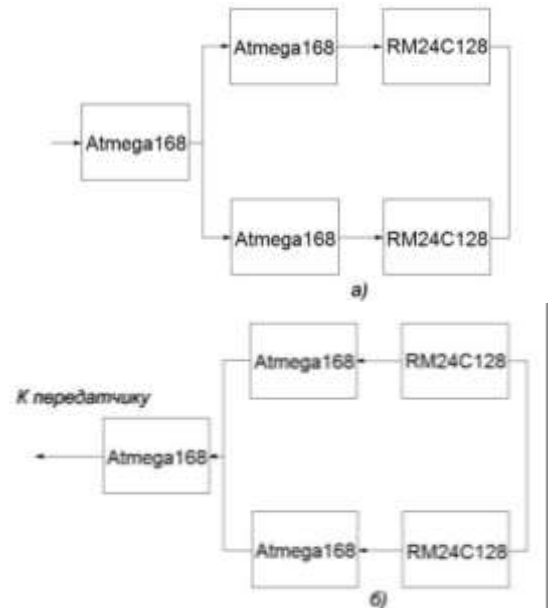


Рис. 5. Структурная схема блока телеметрии: а – операция записи в память; б – операция чтения из памяти и отправки в радиочастотный тракт



Рис. 6. Структурная схема блока доплеровской фильтрации

Для оценки показателей стойкости аппаратуры модифицированным методом построены графы состояний ПН для каждого вида ОПЭ. Расчет стойкости произведен в программном обеспечении (ПО) RAM Commander [7], которое автоматически генерирует систему дифференциальных уравнений, основываясь на виде построенного графа. Алгоритм расчета, реализованный в ПО, описан в нормативном документе [3].

В качестве примера на рис. 7 приведен один из построенных графов, описывающий поведение ПН в условиях ССО при возникновении SEL-эффектов. Графы для остальных видов ОПЭ приведены в работе [2]. Для защиты элементов ПН используется схема парирования на дискретных элементах. Она кратковременно снимает напряжение питания с блока, в котором возникает SEL-эффект, и возвращает систему в исправное состояние.

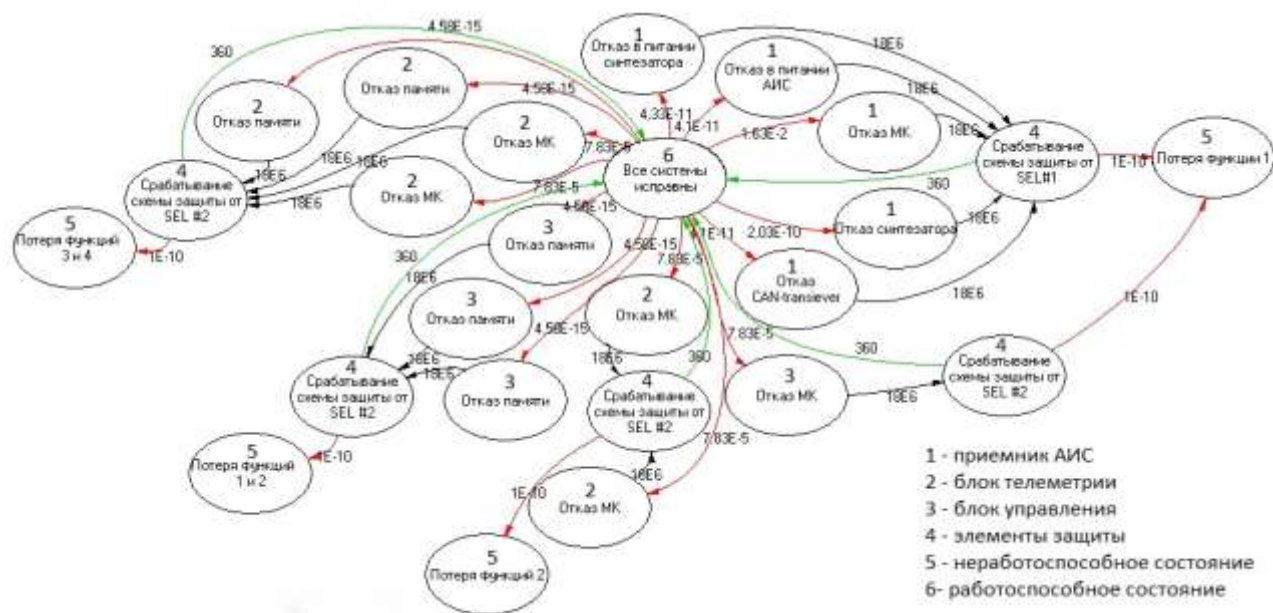


Рис. 7. Граф состояний ПН при возникновении в элементах SEL-эффекта. Функции: 1 – прием и запись сигналов судов в память; 2 – считывание сигналов из памяти и передача их в радиочастотный тракт; 3 – запись телеметрии; 4 – считывание телеметрии из памяти и передача ее в радиочастотный тракт

Сравнительный анализ результатов оценки стойкости ПН существующим и модифицированным методами представлен в таблицах 2, 3. В результате расчета показателей стойкости РЭА мо-

дифицированным методом было установлено, что предъявленные к аппаратуре требования выполняются.

Таблица 2

Сравнение результатов оценки показателей стойкости ПН по одиночным сбоям

Тип эффекта	Существующий метод		Модифицированный метод	
	Частота сбоев на ССО, 1/день	Частота сбоев на НКО, 1/день	Частота сбоев на ССО, 1/день	Частота сбоев на НКО, 1/день
SEU	$1,24 \cdot 10^{-2}$	$4,53 \cdot 10^{-3}$	$4,09 \cdot 10^{-6}$	$3,53 \cdot 10^{-5}$
SEFI	$3,12 \cdot 10^{-1}$	$4,57 \cdot 10^{-2}$	$1,50 \cdot 10^{-16}$	$2,69 \cdot 10^{-17}$

Таблица 3

Сравнение результатов оценки показателей стойкости ПН к одиночным отказам

Тип эффекта	Существующий метод				Модифицированный			
	Время безотказной работы, день		Частота отказов, 1/день		Время безотказной работы, день		Частота отказов, 1/день	
	ССО	НКО	ССО	НКО	ССО	НКО	ССО	НКО
SEL	< 1	< 1	$3,9 \cdot 10^{-1}$	$6,67 \cdot 10^{-2}$	> 365	> 365	$8,70 \cdot 10^{-17}$	$2,05 \cdot 10^{-17}$
КО*	480*	660*	$2,51 \cdot 10^{-5}$	$1,83 \cdot 10^{-5}$	438*	600*	$1,04 \cdot 10^{-6}$	$7,53 \cdot 10^{-7}$

*При условии, что приемник АИС работает 2 часа в сутки.

Сравнительный анализ показал, что различия в частотах ОРЭ, рассчитанных существующим и модифицированным методом, могут достигать нескольких порядков. Только в случае КО результаты расчета совпадают, поскольку устойчивость ПН обусловлена резервированием, которое учитывают оба метода.

Подтверждение достоверности модифицированного метода оценки стойкости РЭА КА к воздействию ОЗЧ КП по ОРЭ планируется провести в ходе наземных испытаний ПН и космического эксперимента.

Наземные испытания ПН на стойкость к воздействию ОЗЧ по ОРЭ планируется проводить на

ускорителе ионов У400(М) ЛЯР ОИЯИ и лазерном имитаторе АО «РНИИ «Электронстандарт». Методика испытаний аппаратуры будет заключаться в поочередном облучении каждого чувствительного ЭРИ, входящего в состав ПН. В процессе воздействия будет производиться подсчет количества ОРЭ, происходящих в аппаратуре, и наблюдаться отклик системы на сбой или отказ ее элементов во время выполнения той или иной функции. Натурные испытания ПН в условиях КП будут проведены в ходе миссии КА С-АИС, планируемой к проведению на ССО в 2017 г. Оборудование эксперимента включает КА формата CubeSat 3U, реализованный на базе наноспутниковой платформы «Синергия» разработки ООО «Астрономикон» [8], ПН и приемную земную станцию, развернутую на территории СПбПУ. Методика испытаний предполагает телеметрический контроль параметров ПН и подсчет количества ОРЭ, происходящих во время миссии. Данные эксперимента будут сравниваться с результатами их оценки существующим и модифицированным методами и результатами наземных испытаний в составе аппаратуры. Это позволит судить о корректности результатов, полученных на

базе модифицированного расчетно-экспериментального метода оценки стойкости ПН.

Заключение

Предложен модифицированный метод оценки стойкости РЭА КА к воздействию ОЗЧ КП по ОРЭ, позволяющий учитывать режимы функционирования бортовой аппаратуры и влияние современных программно-аппаратных средств защиты. Показано, что показатели, полученные при помощи существующего и модифицированного методов, различаются на несколько порядков, т.е. в случае подтверждения достоверности предложенного метода возможно качественное повышение точности оценки радиационной стойкости РЭА. Запланированы работы по экспериментальному подтверждению достоверности предложенного метода в ходе наземных испытаний бортовой РЭА КА и космического эксперимента.

Результаты работы могут послужить основой для разработки новых нормативных документов, расширяющих возможности методов оценки радиационной стойкости РЭА.

Литература

1. РД 134-0139-2005. Методы оценки стойкости аппаратуры к воздействию заряженных частиц по одиночным сбоям и отказам.
2. **Сивачева К.Г.** Методы оценки радиационной стойкости радиоэлектронных средств космического аппарата: дис. магистра техники и технологии. СПб: СПбПУ Петра Великого, 2015 [Электронный ресурс]. URL: <http://elib.spbstu.ru/dl/2/6223.pdf/view> (дата обращения 25.04.2016).
3. ГОСТ Р 51901.15-2005. Менеджмент риска. Применение марковских методов. М.: Стандартинформ, 2005. 20 с.
4. Отраслевая информационно-справочная система по стойкости ЭКБ к естественным ИИ КП [Электронный ресурс]: URL: <http://www.kosrad.ru/index.php/ru/> (дата обращения 22.04.2016).
5. Информационно-справочная система ИСС РКП [Электронный ресурс]. URL: <http://84.17.21.78:81/rkp> (дата

6. GSFC Radiation Data Base [Электронный ресурс]. URL: <http://radhome.gsfc.nasa.gov/radhome/radatabase/radatabase.html> (дата обращения 22.04.2016).
7. Пакет для проведения инженерных расчетов [Электронный ресурс]: URL: <http://www.bee-pitron.ru/ru/left/electric/reliability/ramcommander/index.shtml> (дата обращения 24.04.2016).
8. Некоторые аспекты применения наноспутников, построенных на базе универсальной платформы «Синергия» блочно-модульного исполнения / **П.Н. Бокучава, А.П. Гусев, Д.Е. Колосов** [и др.] // Научно-технический семинар «Научные эксперименты на малых космических аппаратах. Аппаратура, сбор данных и управление, электронная компонентная база»: труды семинара. Таруса, 2012, 23-25 мая.

References

1. *RD 134-0139-2005. Metody otsenki stoykosti apparatury k vozdeystviyu zaryazhennykh chastits po odinokhnym sboyam i otkazam* [The Evaluation Method for Equipment Hardness to Charged Particle Impact on Single Event Effects and Failures].
2. **Sivacheva K.G.** *Metody otsenki radiatsionnoy stoykosti radioelektronnykh sredstv kosmicheskogo apparata: dissertatsiya. magistra tekhniki i tekhnologii* [The Evaluation Methods of the Spacecraft Electronic Tool Hardness: The Technique and Technology Master's Degree]. Available at: <http://elib.spbstu.ru/dl/2/6223.pdf/view> (accessed 25.04.2016).
3. *GOST R 51901.15-2005. Menedzhment riska. Primenenie markovskikh metodov* [Risk Management. Application of the Markov Methods]. Moscow, Standartinform Publ., 2005, 20 p.
4. *Otraslevaya informatsionno-spravochnaya sistema po stoykosti EKB k estestvennym II KP* [Branch Informational system on Electronic Component Base Hardness to Natural Ionizing Radiation of Space Environment]. Available at: <http://www.kosrad.ru/index.php/ru/> (accessed 22.04.2016).
5. *Informatsionno-spravochnaya sistema ISS RKP* [The Informational System of the Rocket and Space Industry]. Available

- at: <http://84.17.21.78:81/rkp> (accessed 20.04.2016).
6. GSFC Radiation Data Base. Available at: <http://radhome.gsfc.nasa.gov/radhome/radatabase/radatabase.html> (accessed 22.04.2016).
7. *Paket dlya provedeniya inzhenernykh raschetov* [A package for Conducting Engineering Evaluation]. Available at: <http://www.bee-pitron.ru/ru/left/electric/reliability/ramcommander/index.shtml> (accessed 24.04.2016).
8. **Bokuchava P.N., Gusev A.P., Kolosov D.E., et al.** *Nekotorye aspekty primeneniya nanospitnikov, postroennykh na baze universal'noy platformy "Sinergiya" blochno-modulnogo ispolneniya* [Some Aspects of Applying Nano Satellites Based on Modular Universal Platform "Sinergiya"]. *Trudy Nauchno-tekhnicheskogo seminar "Nauchnye eksperimenty na malyyh kosmicheskikh apparatah. Apparatura, sbor dannykh i upravlenie, elektronnyaya komponentnaya baza"* [Proc. Research Workshop "Scientific Experiments on Small Spacecrafts. Equipment, Data Collection and Management, Electronic Component Base"]. Tarusa, 23-25 May, 2012.