

© Анашин В.С.
Anashin V. S.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫСОКИХ СРОКОВ АКТИВНОГО СУЩЕСТВОВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ЗА СЧЕТ КОНТРОЛЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА НА РАДИОЭЛЕКТРОННУЮ АППАРАТУРУ

PROVISION OF HIGH SPACECRAFT LIFETIMES BY CONTROLLING SPACE IONIZING RADIATION EXPOSURE UPON AVIONICS

Аннотация. В статье рассмотрены методы обеспечения и повышения сроков активного существования (САС) космических аппаратов (КА) путем создания системы мониторинга воздействия ионизирующих излучений космического пространства на радиоэлектронную аппаратуру (РЭА) КА с целью контроля остаточного ресурса КА, управления структурно-алгоритмическими методами повышения САС, прогноза воздействия ИИ КП.

Предложена структура системы мониторинга, включающая бортовой и наземный сегменты, определены функции ее основных элементов. На основе анализа потенциально применимых принципов бортового контроля воздействия ИИ КП в области дозовых и одиночных эффектов рекомендованы сенсоры накопленной дозы (на основе МДП-транзисторов) и сенсоры тяжелых заряженных частиц (на основе статических оперативных запоминающих устройств).

Практическая значимость работы состоит в определении технических требований и разработке структуры и состава системы мониторинга ионизирующих излучений космического пространства в целом, ее наземного и бортовых сегментов, а также формулировки основных направлений развития работ.

Annotation. The methods of provision and enhancing spacecraft lifetimes by developing an ionizing radiation exposure monitoring system in order to control remaining spacecraft lifetime, to control structural algorithmic methods of enhancing lifetime and to forecast the impact of ionizing radiation are presented in the paper.

The structure of the monitoring system, including space-borne and ground-based segments is suggested, main functions of the system's elements are determined. The accumulative dose (based on MOS-transistors) and heavy ion (based on static RAM) sensors are recommended based on the analysis of potentially applicable principles of space-borne ionizing radiation control in the field of dose and SEE effects.

Practical significance of the work is in determination of technical requirements in development of the structure and scope of the space ionizing radiation monitoring system as a whole, its ground-based and space-borne segments, and also in formulation of work development directions.

Ключевые слова. Ионизирующие излучения космического пространства, система мониторинга, структурно-алгоритмические методы повышения срока активного существования, бортовой сегмент, наземный сегмент, сенсоры накопленной дозы, сигнализаторы тяжелых заряженных частиц.

Key words. Space ionizing radiation, monitoring system, structural algorithmic methods of enhancing spacecraft lifetime, space-borne segment, ground-based segment, accumulative dose sensors, heavy ion sensors.

Срок активного существования (САС) радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) космических аппаратов (КА) практически полностью определяется стойкостью электронной компонентной базы (ЭКБ) к воздействию ионизирующих излучений космического пространства (в части одиночных и дозовых эффектов). Дозовые эффекты от протонов и электронов естественных радиацион-

ных поясов Земли (ЕРПЗ) приводят к параметрическим и функциональным отказам, одиночные эффекты от воздействия протонов и ионов ЕРПЗ, солнечных и галактических космических лучей (СКЛ и ГКЛ) приводят к обратимым (сбоям) и необратимым (катастрофическим) отказам. На долю ионизирующих излучений космического пространства (ИИ КП) падает, по литературным данным,

Анашин Василий Сергеевич – кандидат технических наук, заместитель генерального директора – начальник научно-производственного комплекса, заместитель главного конструктора ФГУП НИИ космического приборостроения, тел. (495) 673-99-26.

Anashin Vasily Sergeevich – the candidate of technical sciences, the assistant to general director – the chief of research-and-production complex, the assistant to the main designer of FSUE SRI of Space Device Engineering, tel.(495)673-99-26.

от 30 до 50 % квалифицированных отказов [1], хотя реально этот процент выше из-за того, что вызываемая деградация материалов является стимулятором других типов отказов (и в первую очередь электростатических). В настоящее время не вся электронная компонентная база (ЭКБ) имеет должный гарантированный уровень стойкости к ИИ КП, что приводит к необходимости оценивать остаточный ресурс РЭА каждого КА и применять необходимые структурно-алгоритмические методы повышения САС, это возможно лишь проведением постоянного мониторинга воздействия ИИ КП на критические узлы РЭА в различных местах КА.

Эти подходы реализуются при создании системы мониторинга ИИ КП (в части контроля воздействия на РЭА КА), являющейся не альтернативой, а дополнением к научным системам контроля ИИ КП и предназначенной в основном для следующих целей:

- измерения характеристик воздействия ИИ КП на РЭА КА;
- расчета и контроля остаточного ресурса КА;
- управления структурно-алгоритмическими методами для повышения САС РЭА КА;
- прогнозирования изменения (в том числе опасного) воздействия ИИ КП.

Система, структура которой представлена на рис. 1, состоит из бортового сегмента, включающего набор микроминиатюрных (малый вес, габариты и потребление) систем бортовых измерителей ИИ КП (МСБ ИИ), устанавли-

ваемых на всех КА (в виде набора сенсоров для интеграции в РЭА или самостоятельной системы) и сопрягающихся с телеметрическими подсистемами для обеспечения непрерывного сброса измерений на Землю, и наземного сегмента, базирующегося в основном на существующем оборудовании и линиях связи и включающем центр мониторинга воздействий ИИ КП, обеспечивающий, в первую очередь контроль и расчет "остаточного" ресурса", и центр оперативного мониторинга и моделирования, обеспечивающий прогноз ИИ в КП. Результаты мониторинга ИИ КП доступны также и в информационно-справочной системе (ИСС) по стойкости к ИИ КП.

МСБ ИИ осуществляет непосредственное измерение воздействия ИИ КП на РЭА КА в области дозовых и одиночных эффектов (а также дополнительных факторов, в случае необходимости) и доведение (через стандартные средства КА) результатов измерений до наземных станций (НС). Бортовые измерения в составе телеметрической информации через стандартные средства связи передаются от НС в центр управления полетами (ЦУП) соответствующего КА и от него поступают в стенд генерального конструктора (СГК), где происходит выделение измеренных характеристик и их предварительная обработка с последующей передачей в центральную наземную станцию (ЦНС) для обработки, и в локальную наземную станцию информационно-справочной системы по стойкости к ИИ КП (ЛНС ИСС) для отображения.

Основной функцией ЦУП является управление ра-

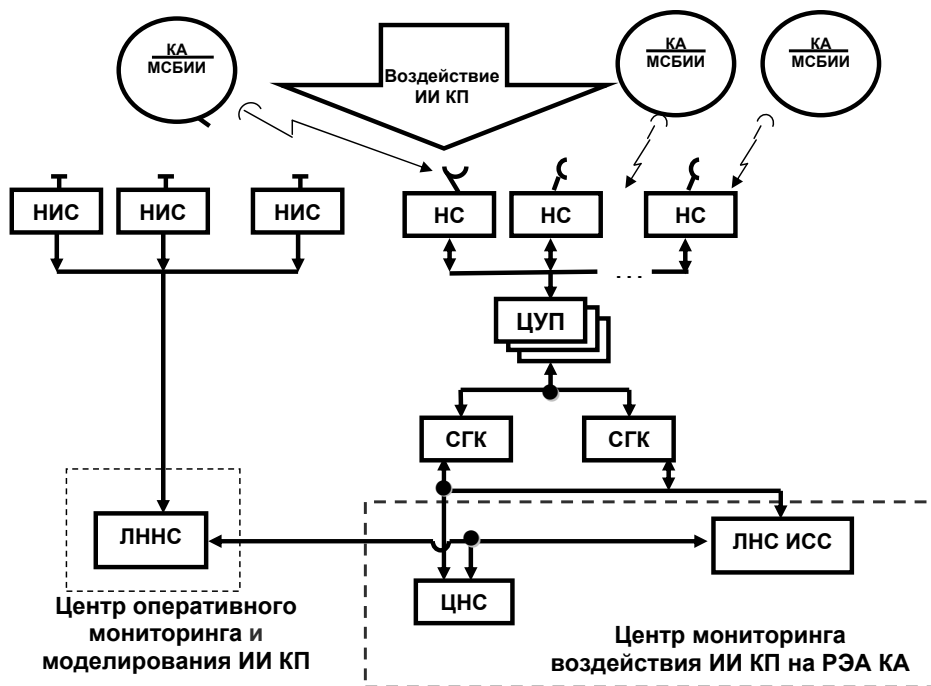


Рис.1. Система мониторинга ИИ КП (воздействия на РЭА КА)

ботой КА, включая прием и передачу информации, транзитной в части информации о бортовых измерениях. SGK выделяет из телеметрических кадров всю технологическую информацию, непосредственно не используемую для управления КА, и производит ее обработку (накопление для бортовых измерений ИИ КП).

Наземная измерительная станция (НИС) измеряет воздействие ИИ КП после атмосферного ослабления и передает в локальную наземную научную станцию (ЛННС), в которой она собирается, буферизируется, обрабатывается (выработка предварительного прогноза развития ИИ КП) и транслируется в ЦНС, которая может интегрироваться в международную систему контроля и прогноза "космической погоды".

НИС позволяют проводить измерения широкого спектра характеристик на разнообразном оборудовании, вне зависимости от его габаритов. Бортовые измерения в силу ограничения по массо-габаритным характеристикам в основном имеют интегральный характер.

Информация бортового сегмента используется также для учета влияния атмосферы путем сравнения одновременно (время и место) проведенных орбитальных и наземных измерений и расчета уставок для наземных измерений.

Центральная наземная станция (ЦНС) с ЛННС и ЛНС ИСС осуществляет сбор и обработку бортовых наземных измерений с выработкой прогнозов (на основе предварительных от ЛННС) состояния ИИ КП и его воздействия на КА, в том числе вычисляет остаточный ресурс.

В случае неблагоприятного, с точки зрения ИИ КП, развития ситуаций, возможна передача предупреждающих сигналов на КА (через SGK и ЦУП); по этому же каналу возможно управление структурно-алгоритмическими методами повышения САС путем выдачи соответствующих команд на основе анализа воздействий ИИ КП на конкретную РЭА.

К структурно-алгоритмическим методам повышения САС РЭА КА в условиях воздействия ИИ КП, управление которыми осуществляется с использованием рассматриваемой системы мониторинга, можно отнести:

- оптимальное переключение резерва (повышение САС до 3 раз по сравнению с последовательным включением резерва при отказе основного);
- временное отключение аппаратуры повышенной чувствительности (при попадании в аномалии ЕРПЗ, при развитии солнечных вспышек и т.п.);
- временное локальное экранирование оптических элементов (при развитии солнечных вспышек).

При этом оперативное решение об использова-

нии данных методов может приниматься автономно на борту КА и по команде с Земли.

Основными принципами построения бортового сегмента системы мониторинга ИИ КП являются:

- обеспечение возможности установки на все КА;
- микроминиатюрность (веса и габариты) и низкое потребление энергии;
- использование только стандартных внутренних и внешних интерфейсов;
- использование твердотельных сенсоров накопленной дозы и сигнализаторов ТЗЧ;
- измерение интегральной накопленной дозы, а не эффективной мощности дозы;
- контроль (1-3) уровней воздействия ТЗЧ.

Эти принципы реализуются в представленной структуре бортового сегмента – микроминиатюрной системе бортовых измерений ИИ КП (МСБ ИИ), которая имеет n (от 1 до 16) сенсоров накопленной дозы (СНД) и m (от 1 до 4) сенсоров тяжелых заряженных частиц и l (от 1 до 4) дополнительных сенсоров (ДС), информация от которых через интерфейсные модули (БИД, БИО, БИДС) конденсируется в подсистеме сбора и обработки (ПСО) и обрабатывается в блоке обработки (БО). ДС используется для контроля температуры (с целью корректировки дозовых измерений) и рентгеновского излучения (с целью уточнения начала солнечных вспышек и т.п.).

Каждый сенсор включает чувствительный элемент, узел измерений и интерфейсный узел (ДЧЭ, УДИ, УИД – для СНД и ОЧЭ, УОИ, УИО – для СТЗЧ). Очевидно, что интерфейсные блоки, а также блоки сопряжения реализуют электрические и логические протоколы взаимодействия, блоки и узлы обработки обеспечивают преобразование информации и ее обработку, а узлы чувствительных элементов преобразуют исходное воздействие (ИИ КП, в области одиночных и дозовых эффектов, рентгеновское излучение и температура) в удобный электрический канал.

МСБ ИИ через блок сопряжения (БС) взаимодействует с бортовым комплексом управления (БКУ) и телеметрической системой (ТМС) по стандартным интерфейсам, данные доступны и другим целевым системам, имеет также аппаратную телеметрию. Результаты измерений встраиваются в телеметрический кадр и сбрасываются на Землю.

Использование представленной системы в качестве штатной системы КА выдвигает требования полного соответствия РК 98КТ, включая дополнительные требования по ЭКБ, реализуемые, в том числе использованием методов, изложенных в работах [4,5]. Следует отметить, что бортовой сегмент может существовать как в виде са-

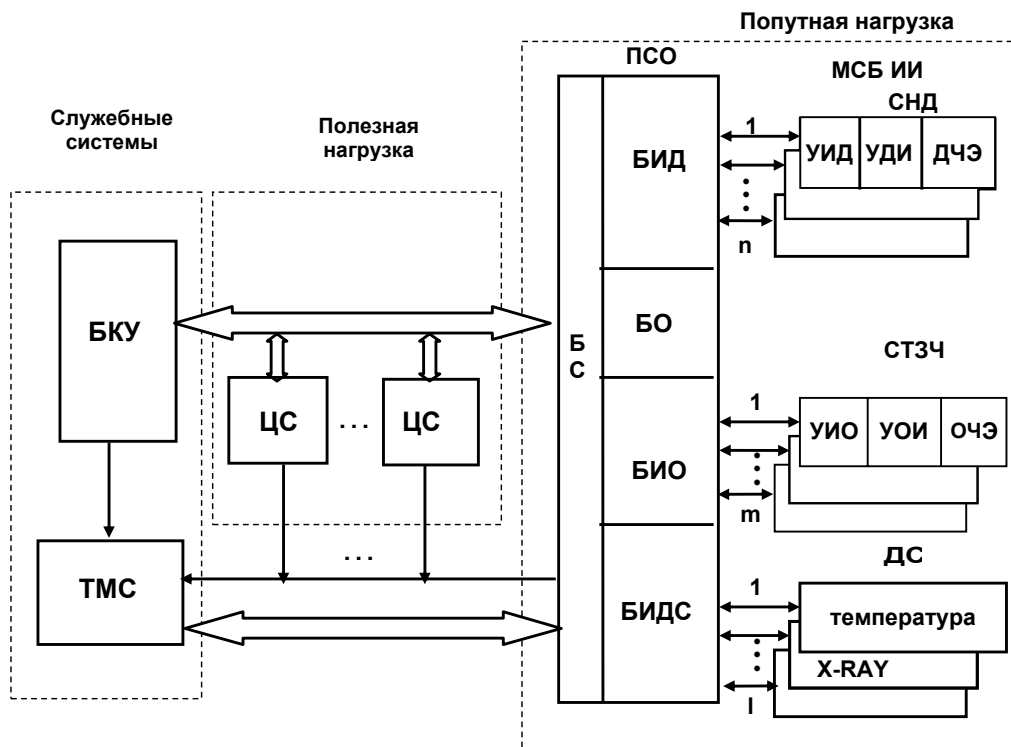


Рис. 2. Структура МСБ ИИ

мостоятельной подсистемы КА, так и в виде набора модулей для интеграции в бортовую РЭА.

Представленная на рис. 2 структура предполагает использование стандартизованных интерфейсов связи элементов бортового сегмента между собой и с подсистемами КА. В качестве внешних интерфейсов предпочтительно использование:

- МКО ГОСТ Р52070-2003 (при расстояниях до 10м);
 - RS485, RS322 (при расстояниях до 2 м);
 - Space Wire (при расстояниях до 10м);
 - последовательный синхронный (ТЛМ) при расстояниях до 5м;
- в качестве внутренних:
- цифровой интерфейс (1-200 кГц) при расстояниях до 5 м;
 - аналоговый интерфейс (0,5-5,0 В) при расстояниях до 2 м;
 - RS485 при расстояниях до 2 м.

Для мониторинга ионизационной компоненты дозовых нагрузок на борту КА возможно используются различные типы дозиметров, из которых наибольшую привлекательность имеет металл-диэлектрик-полупроводниковый (МДП) дозиметр на основе р-канальных МДП транзисторов. Основными преимуществами МДП дозиметров являются: наличие электрического информационного сигнала, пропорционально-

го дозе ИИ, возможность регистрации дозы в реальном масштабе времени (регистрируется текущая доза, а не эффективная мощность дозы), наличие рабочего объема (подзатворный диэлектрик) и его конструктивных особенностей аналогичных области, чувствительной к дозовым отказам в метал-окисел-полупроводниковых (МОП) приборах, а также малые габариты и энергопотребление. Очевидно, что именно в этом направлении необходимо проводить работы по созданию СНД.

Одним из основных элементов контроля является СТЗЧ, фиксирующий высокоэнергетичные протоны и ионы ЕРПЗ, СКЛ и ГКЛ. В качестве ЧЭ предпочтительно использование твердотельных бистабильных элементов (динамические, статические оперативные запоминающие устройства (ОЗУ)), где наиболее просто реализуется принцип фиксации вызываемого SEU эффекта (а не измерение первичных потоков ТЗЧ) на основе статических оперативных запоминающих устройств (СОЗУ), имеющих ряд преимуществ:

- возможность исключения других (катастрофических) эффектов;
- малые габариты;
- малое потребление;
- относительная простота фиксации сбоя;
- низкая угловая чувствительность.

Обратимые переключения элементов памяти под воздействием одиночных частиц космического излуче-

ния (единичные сбои (SEU- Single Event Upset)) являются важнейшими из восьми квалифицируемых ОЭ, ограничивающих надежное функционирование изделий микроэлектроники в условиях космического пространства. Физическая причина единичных сбоев (ЕС) – ионизация и последующее собирание зарядов в пределах так называемого чувствительного микрообъема ячейки памяти.

Изложенные принципы построения системы мониторинга ИИ КП реализуются в создаваемых в ФГУП НИИ КП элементах бортового (эксплуатация СНД КА ГЛОНАСС, разработка МСБВИ (вкл. СНД и СТЗЧ) КА "Спектр – УФ" и СНД для КА ГЛОНАСС-К) и наземного (экспериментальная эксплуатация ЛНС ИСС) сегментов.

В результате рассмотрения вопросов контроля воздействия ИИ КП на РЭА КА можно сформулировать основные направления развития работ по бортовому сегменту:

- микроминиатюризация (сокращение весов и габаритов, уменьшение энергопотребления и стандартизация электропитания);
- расширение диапазона измерений твердотельных СНД;
- создание твердотельных СТЗЧ с управляемым порогом чувствительности.

В части наземного сегмента основными направлениями работ являются:

- адаптация существующих каналов связи для системы мониторинга ИИ КП (включая доработку программных и аппаратных средств);
- создание (с использованием имеющегося аппаратно-программного задела) ЦНС, ЛННС и ЛНС ИСС.

Литература

1. Koons et al. H.C., *The impact of the space environment on space systems, Aerospace technical Report TR-99 (1670) – 1, 1999.*
2. Анашин В.С., "Отраслевая система мониторинга воздействия ионизирующих излучений космического пространства на радиоэлектронную аппаратуру космических аппаратов". // 7-я международная конференция "Авиация и космонавтика-2008". Тезисы докладов – М.: МАИ, 2007.
3. Анашин В.С. "Мониторинг воздействия ионизирующих излучений космического пространства на радиоэлектронную аппаратуру космических аппаратов". // Научно-техническая конференция "Информационно-управляющие системы – 2008". Тезисы докладов – г. Королев, 2008.
4. Анашин В.С. "Развитие экспериментально-аналитического метода неразрушающего контроля стойкости КМОП ЭКБ к дозовым эффектам от воздействия ИИ КП" // Двойные технологии № 4, 2008.
5. Анашин В.С. "Проблемы обеспечения РЭА космических систем высокими САС высоконадежной элементной базой" // Двойные технологии № 1, 2009.
6. Анашин В.С. "Устройства контроля интегральных нагрузок ионизирующего излучения". // Тезисы докладов семинара 4 ЦНИИ МО – г. Юбилейный, 2004.

Материал поступил в редакцию 10. 02. 2009г.