

А. А. КОВЕЛЬ, С. В. ПОКИДЬКО

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ В УСЛОВИЯХ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

Рассмотрен принцип организации исследований элементной базы бортовой аппаратуры в условиях воздействия факторов космического пространства.

Ключевые слова: элементная база, параллельные исследования, воздействие факторов космического пространства, наземные условия.

Проблемы увеличения сроков активного существования космических аппаратов (КА) приобрели особую актуальность при разработке космической техники в середине прошлого века. Потенциальные возможности совершенствования схемотехники, резервирования и конструирования бортовой аппаратуры были практически исчерпаны, и сдерживающим фактором развития космической техники оказалась элементная база КА (электрорадиоизделия — ЭРИ). При ее разработке не учитывалась специфика условий эксплуатации КА, более того, опыт эксплуатации КА с малым ресурсом показал избыточность массогабаритных параметров контейнерных КА и перспективность использования бесконтейнерных аппаратов. Накопленная информация об эксплуатационной среде КА свидетельствовала о значительном разрыве между требуемыми и возможными качественными показателями существовавших тогда ЭРИ.

В состав систем КА входит широкий спектр устройств различного назначения (механических, электромеханических, электрохимических, оптических, электронных и др.). Очевидно, что корректное комплексное воспроизведение всего спектра эксплуатационных воздействий (тем более, длительное) при наземно-эксплуатационной отработке элементов КА невозможно. Это обусловлено тем, что оборудование, используемое при наземных испытаниях,

позволяет воспроизводить лишь монофакторные воздействия, и результаты испытаний неадекватны результатам стохастических (по времени и уровням воздействий) полифакторных условий эксплуатационной среды [1, 2]. Особое значение в этом спектре имеют корпускулярно-волновые воздействия естественного (галактические, солнечные) и искусственного происхождения, объединенные понятием „факторы космического пространства“ (ФКП).

Информация о функционировании ЭРИ в составе устройств КА по результатам телеметрических (ТМ) измерений также была некорректной, так как формировалась по результатам работы ЭРИ при большом количестве схмотехнических решений и, соответственно, электрических режимов. В этой связи вполне понятен интерес к исследованию в натуральных условиях работы ЭРИ в „чистом“ виде. Это обстоятельство определило попытки исследовать процессы, протекающие в ЭРИ (пассивных и активных) как в контейнере КА, так и вне его [3]. Проблематика исследования ЭРИ в эксплуатационных условиях была включена в перечни научно-исследовательских работ по обеспечению длительных сроков активного существования КА, в том числе с проработкой возможности реализации КА в бесконтейнерном варианте.

С использованием накопленных данных и результатов пассивных экспериментов (наземных и в составе КА), в том числе при ограниченных пределах случайного изменения воздействий (электропитания, температуры и др.) и наличии факторов космического пространства в условиях реального времени, были сделаны следующие выводы об оптимизации процесса сбора информации и возможных технологических аспектах исследования ЭРИ в условиях натурной эксплуатации.

1. Предпочтительным является метод математического планирования эксперимента (МПЭ), что позволит увеличить объем получаемой информации, упростить обработку и интерпретацию результатов [4].

2. ЭРИ, входящие в состав выборок одинакового объема, должны одновременно использоваться как в контейнере КА, так и вне его.

3. Параллельно с выборкой, исследуемой в условиях космического пространства, необходимо исследовать выборки эквивалентного объема в наземных условиях.

4. Исследованию должны подлежать наборы ЭРИ с учетом рекомендаций разработчика в целях установления корреляции между результатами проводимых им испытаний и данными, получаемыми с борта КА, что позволит повысить их статистическую достоверность.

5. Исследованию должны подлежать элементы, изготавливаемые по однотипной технологии.

6. В процессе исследований должен быть воспроизведен весь комплекс электрических и других режимов для одноименных ЭРИ.

Реализация одного из вариантов исследования показана на рис. 1. Исследованию подвергались три набора ЭРИ — три выборки одинакового объема, два из которых устанавливались вне контейнера КА, а один — внутри. Это позволяло осуществить варьирование температуры от T_{\min} до T_{\max} (вне контейнера КА), соответствующее условиям эксплуатационной среды, путем установки плат с ЭРИ на „солнечной“ и „теневого“ сторонах КА. Одновременно контрольная плата устанавливалась в контейнере КА в условиях относительно стабильной температуры контейнера, которая обеспечивалась системой терморегулирования (СТР).

Посредством генератора управляющих воздействий, расположенного в контейнере КА, непрерывно по случайному закону обеспечивалось изменение на заданных уровнях питающих напряжений ($U_{\text{п}}$), величин нагрузки, напряжений смещения ($U_{\text{см}}$) и других воздействий в зависимости от конкретного типа ЭРИ, подвергаемых исследованию. При этом варьировался также уровень ФКП: максимальный — на выборке ЭРИ вне контейнера КА („солнечная“ сторона), минимальный — на „теневого“ стороне КА (или в контейнере). Уровни воздействий фиксировались специальными датчиками.

Параллельно эквивалентный набор ЭРИ (*k* образцов) подвергался таким же воздействиям (кроме ФКП) в наземных условиях.

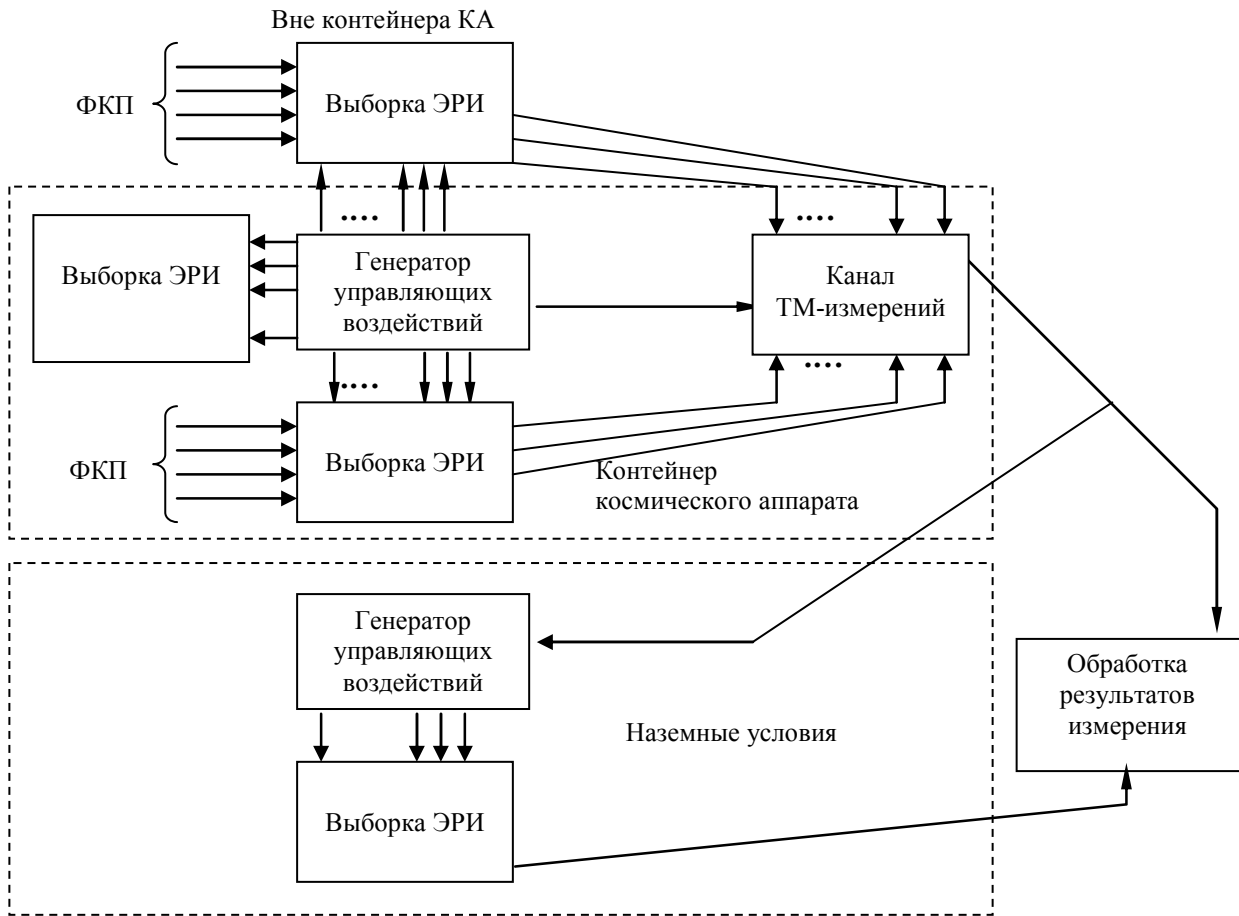


Рис. 1

С учетом результатов исследования был сформирован возможный вариант матрицы планирования, не содержащий ФКП (рис. 2) для выборки при наземных условиях.

<i>N</i>	<i>U_п</i>	<i>R_н</i>	<i>U_{см}</i>	<i>T</i>	<i>U_{вх}</i>	ФКП	...	<i>Π_{ЭРИ}</i>
1	–	–	–	–	–	–		<i>Π₁</i>
2	+	–	–	–	–	–		<i>Π₂</i>
3	–	+	–	–	–	–		<i>Π₃</i>
4	+	+	–	–	–	–		<i>Π₄</i>
5	–	–	+	–	–	–		<i>Π₅</i>
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
<i>N</i>	+	+	+	+	+	+		<i>Π_N</i>

Рис. 2

По результатам, полученным по каналам ТМ-измерений, были синтезированы зависимости $\Pi_{\text{ЭРИ}}^{\text{КА}} \left(\sum \frac{\partial \Pi}{\partial x_i} \Delta x_i \right)$ — полиномиальные математические модели параметров ЭРИ, построенные с использованием метода МПЭ с учетом всех воздействий, варьируемых искусственным или естественным путем (ФКП). Последний фактор, по сути, является результатом накопленных дефектов, вызывающих деградацию внутренней структуры ЭРИ с течением времени [5].

Одновременно аналогичные значения воздействий (кроме ФКП) устанавливались и для набора ЭРИ, подвергаемых исследованию в наземных условиях. По результатам была сформирована зависимость $\Pi_{\text{ЭРИ}}^3 \left(\sum \frac{\partial \Pi}{\partial x_i} \Delta x_i \right)$.

Таким образом, в течение времени эксплуатации КА в фиксированных временных сечениях формируются результаты измерений по каждой выборке, отражающие влияние различных случайных сочетаний уровней воздействий. По разности результатов между выборками, полученных при одних и тех же сочетаниях воздействий, но при разных уровнях ФКП, формировалась информация об изменениях вследствие влияния ФКП.

При реализации эксперимента был выявлен ряд обстоятельств, потребовавших уточнения методологии реализации эксперимента и обработки информации: наличие выборок ЭРИ позволяет рассматривать варианты варьирования уровней внешних воздействий и синтеза разных математических моделей по результатам исследования; сопоставление результатов бортовых и наземных измерений позволяет получать статистические данные для формирования оценочных поправок значений $P_{ЭРИ}$ за счет влияния ФКП.

Исследования ряда ЭРИ, входящих в состав устройств КА, показали:

— принципиально новые возможности метода, позволяющего максимально приблизить режимы испытаний к условиям реальной эксплуатации;

— возможность параллельной реализации и синхронизации натуральных и наземных экспериментов и получения дополнительных экспериментальных данных, которые невозможно получить в наземных условиях;

— целесообразность аккумулирования информации по применяемым ЭРИ всеми предприятиями, участвующими в создании КА, а также минимизации номенклатуры ЭРИ; актуальность планирования необходимых экспериментов и выработки единых рекомендаций по режимам применяемых ЭРИ;

— необходимость постоянного предоставления возможностей для исследования в натуральных условиях перспективных комплектующих и материалов для космической техники.

Проведенные исследования ЭРИ в наземных условиях и на борту КА позволили создать перечень ЭРИ отечественного производства для космических аппаратов со сроками активного существования 7—10 лет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Криницкий Е. И., Александровская Л. Н. Летные испытания летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1975.
2. Баклашов Н. И. и др. Натурный эксперимент. М.: Радиосвязь, 1982.
3. Ковель А. А., Покидько С. В. Исследование влияния факторов космического пространства на параметры элементов радиоэлектронной аппаратуры // Материалы науч.-техн. конф. „Надежность и эксплуатация технических систем и комплектующих изделий“. Симферополь, 1990. С. 25—29.
4. Ковель А. А., Покидько С. В. Математическое планирование эксперимента при отработке электронных устройств // Изв. вузов. Приборостроение. 2008. Т. 51, № 8. С. 13—18.
5. Покидько С. В. Учет влияния внешних факторов на деградацию параметров устройств РЭА при ресурсных испытаниях // Материалы науч.-техн. конф. „Моделирование отказов и имитация на ЭВМ статистических испытаний ИМС и их элементов“. Суздаль, 1989. С. 202—203.

Сведения об авторах

- Анатолий Архипович Ковель** — д-р техн. наук, профессор; Сибирский государственный аэрокосмический университет им. акад. М. Ф. Решетнёва, кафедра космических информационных систем, Красноярск; E-mail: kovel.bogdan@mail.ru
- Сергей Владимирович Покидько** — канд. техн. наук; Сибирский федеральный университет, Железногорский филиал; E-mail: elin@krasmail.ru

Рекомендована СибГАУ

Поступила в редакцию
19.11.10 г.