

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.

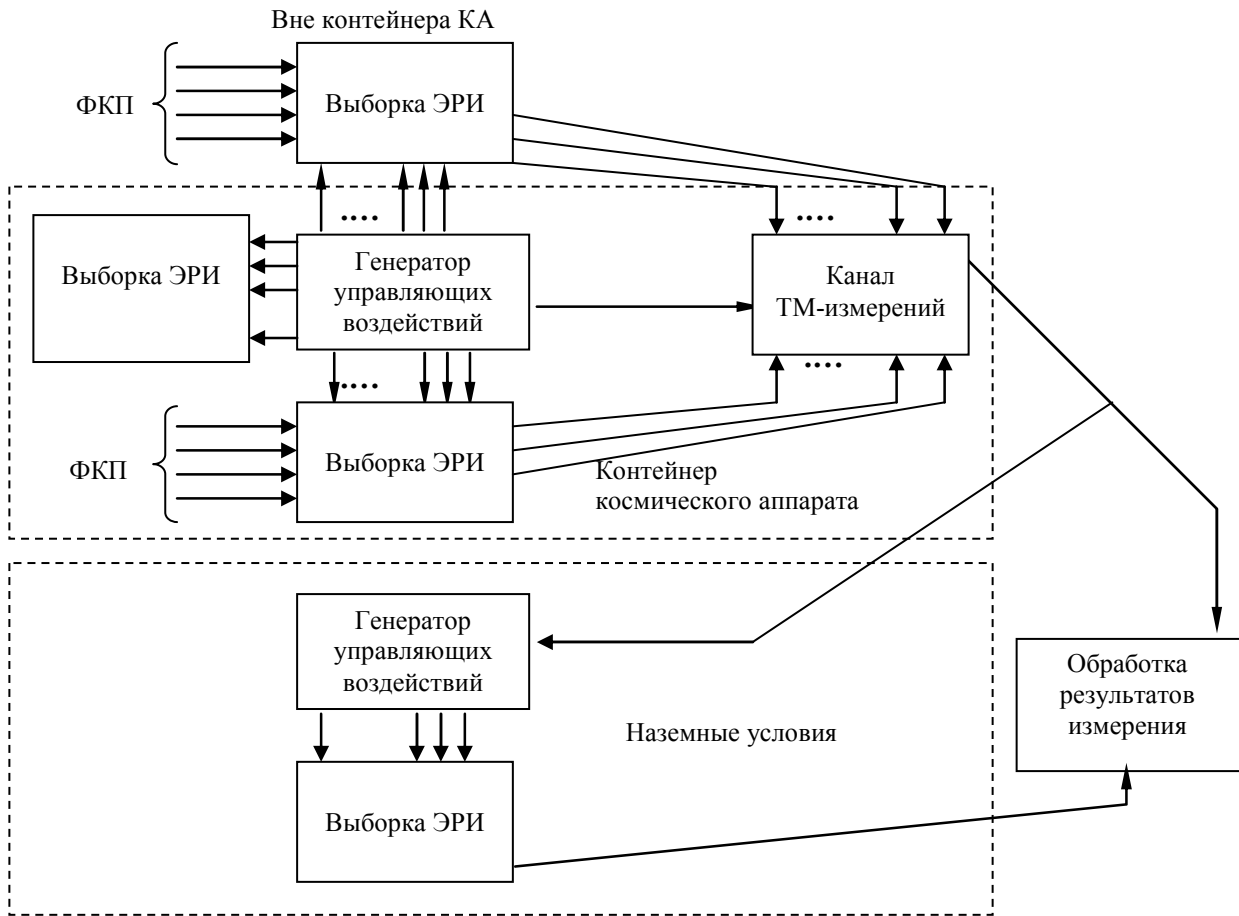


Рис. 1

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

$N$	$U_{п}$	$R_{н}$	$U_{см}$	$T$	$U_{вх}$	ФКП	...	$\Pi_{ЭРИ}$
1	-	-	-	-	-	-		$\Pi_1$
2	+	-	-	-	-	-		$\Pi_2$
3	-	+	-	-	-	-		$\Pi_3$
4	+	+	-	-	-	-		$\Pi_4$
5	-	-	+	-	-	-		$\Pi_5$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$N$	+	+	+	+	+	+		$\Pi_N$

Рис. 2

По результатам, полученным по каналам ТМ-измерений, были синтезированы зависимости  $\Pi_{ЭРИ}^{КА} \left( \sum \frac{\partial \Pi}{\partial x_i} \Delta x_i \right)$  — 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  $\Pi_{ЭРИ}^3 \left( \sum \frac{\partial \Pi}{\partial x_i} \Delta x_i \right)$ .

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.