

Данный текст является русскоязычной версией опубликованной на английском языке статьи и представлен в авторской редакции только на данном сайте!

UDC 629.78.08.018

Doi: 10.31772/2587-6066-2019-20-4-458-464

For citation: Aliseenko Y. V., Nesterishin M. V., Vorontsova E. O., Fedosov V. V., Patelev V. I. Additional screening tests at the testing technical center for ground power equipment. *Siberian Journal of Science and Technology*. 2019, Vol. 20, No. 4, P. 458–464. Doi: 10.31772/2587-6066-2019-20-4-458-464

Для цитирования: Алисеенко Ю. В., Нестеришин М. В., Воронцова Е. О., Федосов В. В., Пантелеев В. И. Дополнительные отбраковочные испытания в испытательном техническом центре для наземного силового оборудования // Сибирский журнал науки и технологий. 2019. Т. 20, № 4. С. 458–464. Doi: 10.31772/2587-6066-2019-20-4-458-464

ADDITIONAL SCREENING TESTS AT THE TESTING TECHNICAL CENTER FOR GROUND POWER EQUIPMENT

Y. V. Aliseenko¹, M. V. Nesterishin¹, E. O. Vorontsova^{1,2}, V. V. Fedosov³, V. I. Pantelev⁴

¹JSC “Academician M. F. Reshetnev “Information Satellite Systems”

52, Lenin St., Zheleznogorsk, Krasnoyarsk region, 662972, Russian Federation

²Reshetnev Siberian State University of Science and Technology

31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation

³JSC “Testing Technical Center”

20, Molodezhnaya Av., Zheleznogorsk, Krasnoyarsk region, 662970, Russian Federation

⁴Siberian Federal University

79, Svobodny Av., Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation

E-mail: Jenvoroncova@gmail.com

When testing a spacecraft in a thermal vacuum chamber, special attention is paid to ensuring guaranteed continuous power supply to the spacecraft for a long time (up to several months). The de-energization of the spacecraft can lead to the failure of thermal control systems, up to the complete failure of the spacecraft worth several billion rubles. During the operation of ground power equipment, the necessary data on the intensity and types of failures in the operation of this ground power equipment were obtained, the result of which led to an increase in the test time and the risks of failure of the spacecraft at this stage. As a result of collaborative work of JSC “Academician M. F. Reshetnev Information Satellite Systems” and Research Institute of Automation and Electromechanics of Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics on the analysis of failure statistics obtained during operation, a technical task was worked out to develop methods for increasing the uptime of ground power equipment manufactured. One of the key requirements for the new generation of ground power equipment being manufactured is to ensure a high reliability indicator – “uptime”. Experience in the field of additional screening tests of electro-radio parts before their installation in a spacecraft allows us to propose a method for determining the quantitative value of the decreasing coefficient of screening tests using a method for evaluating the coefficients characterizing the degree of difference between radio-electronic products that have successfully passed additional screening tests and received ones from the factory manufacturer. As a result of the calculations of the decreasing coefficient and the mathematical calculations of the uptime, it is possible to determine the effect of the decreasing coefficient of screening tests on improving the reliability of ground power equipment. High requirements for uptime of ground power equipment for electrical tests of the spacecraft have led to

the need for additional screening tests in special testing technical centers, where the verification of indicators of the number of failures by confidence probabilities should be carried out. The introduction of additional screening tests in the technological process of ground equipment manufacturing is the next step in the methods of increasing reliability.

Keywords: spacecraft, power ground equipment, reliability, screening tests, electro-radio parts.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ОТБРАКОВОЧНЫЕ ИСПЫТАНИЯ В ИСПЫТАТЕЛЬНОМ ТЕХНИЧЕСКОМ ЦЕНТРЕ ДЛЯ НАЗЕМНОГО СИЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Ю. В. Алисеенко¹, М. В. Нестеришин¹, Е. О. Воронцова^{1,2}, В. В. Федосов³, В. И. Пантелеев⁴

¹АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева»

Российская Федерация, 662970, г. Железнодорожск Красноярского края, ул. Ленина, 52

²Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева

Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31

³АО «Испытательный технический центр – НПО ПМ»

Российская Федерация, 662970, г. Железнодорожск Красноярского края, ул. Молодежная, 20

⁴Сибирский федеральный университет

Российская Федерация, 660041, г. Красноярск, просп. Свободный, 79

E-mail: Jenvoroncova@gmail.com

При испытаниях космического аппарата в термовакуумной камере особое внимание уделяется обеспечению гарантированного непрерывного энергоснабжения космического аппарата в течение продолжительного времени (до нескольких месяцев). Обесточивание космического аппарата может повлечь за собой отказ систем терморегулирования, вплоть до полного выхода из строя космического аппарата стоимостью несколько миллиардов рублей. В процессе эксплуатации наземного силового оборудования получены необходимые данные об интенсивности и типах отказов в работе данного наземного силового оборудования, что привело к увеличению сроков испытаний и рисков выхода из строя космического аппарата на этапе термовакуумных испытаний. В результате совместно проведенного анализа статистики отказов наземного силового оборудования, полученных в процессе эксплуатации, АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева и Научно-исследовательским институтом автоматики и электромеханики Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники было разработано техническое задание по созданию методик увеличения времени безотказной работы наземного силового оборудования. Одним из ключевых требований к изготавливаемому наземному силовому оборудованию нового поколения является обеспечение высокого показателя надёжности – времени безотказной работы. Опыт в области дополнительных отбраковочных испытаний электрорадиоизделий перед их установкой в космическом аппарате позволяет предложить способ определения количественного значения понижающего коэффициента отбраковочных испытаний с помощью метода оценки коэффициентов, характеризующих степень отличия электрорадиоизделий, успешно прошедших дополнительные отбраковочные испытания и полученных с завода-изготовителя. В результате расчётов понижающего коэффициента и математических расчётов времени безотказной работы можно определить влияние понижающего коэффициента отбраковочных испытаний на повышение надёжности наземного силового оборудования. Высокие требования по безотказной работе наземного силового оборудования для электроиспытаний космического аппарата привели к необходимости проведения дополнительных отбраковочных испытаний в специальных испытательных технических центрах, где должны проводиться проверки показателей

количества отказов по доверительным вероятностям. Ввод дополнительных отбраковочных испытаний в технологический процесс изготовления наземного оборудования – это следующая ступень в методах повышения надёжности.

Ключевые слова: космический аппарат, силовое оборудование, надёжность, отбраковочные испытания, электрорадиоизделия.

Введение. При испытаниях космического аппарата (КА) в термовакуумной камере особое внимание уделяется обеспечению гарантированного непрерывного энергопитания КА в течение продолжительного времени (до нескольких месяцев). Обесточивание КА может повлечь за собой отказ систем терморегулирования, вплоть до полного выхода из строя КА стоимостью несколько миллиардов рублей. В процессе эксплуатации наземного силового оборудования (НСО) получены необходимые данные об интенсивности и типах отказов в работе данного НСО, результат которых привёл к увеличению сроков испытаний и рисков выхода из строя КА на этапе термовакуумных испытаний [1; 2].

В результате совместной работы АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева» (АО «ИСС») и Научно-исследовательского института автоматики и электромеханики Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (НИИ АЭМ ТУСУР) по проведению анализа статистики отказов НСО, полученных в процессе эксплуатации, было разработано техническое задание (ТЗ) по разработке методик увеличения времени безотказной работы НСО.

Одним из ключевых требований к изготавливаемой НСО нового поколения является обеспечение высокого показателя надёжности – наработки на отказ. Проведение непрерывных испытаний в термовакуумной камере длительностью до 30 суток полностью зависит от безотказной работы НСО – имитаторов батарей солнечных (ИБС) и блока имитации аккумуляторных батарей (БИАБ).

В обеспечение выполнения ТЗ приняты следующие методы повышения надёжности [3; 4]:

- резервирование силовых каналов ИБС с возможностью «on-line» замены вышедших из строя блоков из состава ЗИП;

- восстановление работоспособности вышедших из строя блоков из комплекта ЗИП в режиме «on-line». В БИАБ разработано восемь идентичных независимых силовых модулей БИЗР, при этом семь модулей обеспечивают 100 % выходной мощности;

- введение в процесс изготовления процедур технологической вибрации и термоциклирования с целью выявления производственных дефектов перед предварительными сдаточными испытаниями;

- введение процедуры отбраковочных испытаний (ОИ) электрорадиоизделий (ЭРИ).

В данной статье рассмотрен метод дополнительных отбраковочных испытаний (ДОИ) как один из методов увеличения времени безотказной работы НСО. По результатам работы необходимо определить влияние ДОИ на повышение надёжности НСО.

Общие понятия о повышении надёжности. Надёжность ЭРИ во время эксплуатации характеризуется кривой зависимости интенсивности отказов от времени (рис. 1) [5].

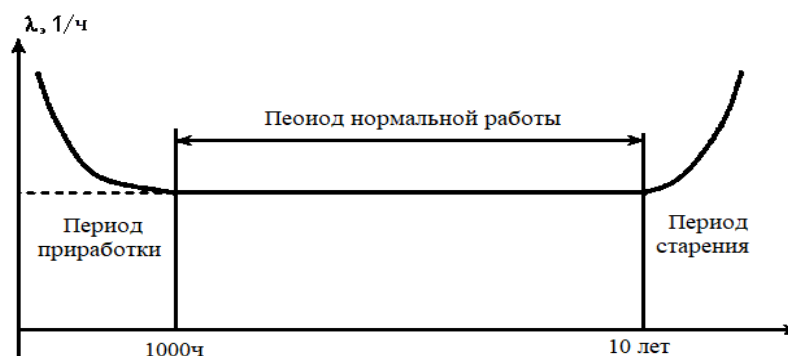


Рис. 1. Типичная зависимость интенсивности отказов ЭРИ от времени

Fig. 1. Typical EEE failure rate versus time

Эта кривая показывает относительно высокую интенсивность отказов в период ранних отказов (период приработки), сравнительно низкую и стабильную интенсивность отказов в период эксплуатации и возрастающую интенсивность в период старения (примерно после 10 лет нормальной работы).

Ранние отказы обычно возникают вследствие конструкторских недоработок и несоблюдения технологических норм при изготовлении. В нормальных условиях работы период приработки длится до 1000 ч или примерно 6 недель. На окончание этапа приработки указывает выравнивание кривой интенсивности отказов. Интенсивность отказов в период приработки имеет тенденцию к уменьшению по мере усовершенствования конструкции аппаратуры и технологии ее изготовления.

В настоящее время общеприняты два основных направления повышения надёжности выпускаемых ЭРИ [5]:

1) устранение причин отказов в процессе изготовления изделий путём изучения и усовершенствования производственного процесса, а также ужесточения контроля. Таким образом происходит воздействие на процесс производства посредством установления стабильной обратной связи передачи информации в направлении создания в идеале бездефектной технологии;

2) выявление и удаление из готовой партии изделий до поставки потребителю изделий со «слабыми местами», которые могут привести к отказам (действительным или потенциальным).

Первое направление является более эффективным методом повышения качества и надёжности выпускаемых изделий. Однако, поскольку отказов не избежать даже для хорошо отлаженного производства, более распространённым способом повышения качества и надёжности выпускаемой партии ЭРИ и интегральных схем является проведение отбраковочных испытаний в процессе выходного контроля на заводе-изготовителе. При этом проверка относится не конкретно к каждому изделию из данной партии, а ко всей партии изделий [6].

Считается, что случайных отказов ЭРИ не бывает, что каждый отказ, с одной стороны, имеет свою причину, а с другой – является следствием приложения к изделию некоторой критической нагрузки. Причиной отказов НСО могут явиться «потенциально ненадёжные» ЭРИ, которые остались не выявленными к началу эксплуатации. Опыт использования интегральных схем в КА показывает, что внедрение отбраковочных испытаний существенно повышает уровень надёжности НСО.

Модернизация метода отбраковочных испытаний. Длительное время ОАО «ИТЦ – НПО ПМ» и предприятия-контрагенты применяют ЭРИ категории качества ВП, ОС и ОСМ, прошедшие дополнительные отбраковочные испытания (ДОИ), включая диагностический неразрушающий контроль (ДНК) и разрушающий физический анализ (РФА), в

испытательных технических центрах (ИТЦ), аккредитованных в “Военэлектронсерт” и Федеральной системе сертификации космической техники. Эти испытания, по данным [6; 7], повышают качество применяемых партий ЭРИ, снижают интенсивность отказов за счёт исключения из них ЭРИ со скрытыми дефектами и позволяют применять понижающий коэффициент $K_{ИТЦ}$, уточняющий значения λ_0 , величины эксплуатационной интенсивности отказов ЭРИ [8].

Однако в настоящее время поправочный коэффициент $K_{ИТЦ}$ не учитывается при расчёте проектной оценки надёжности НСО, так как ещё отсутствует метод количественной оценки данного коэффициента. Таким образом, актуальной остаётся задача технического обоснования величины $K_{ИТЦ}$ для применения при уточнении значения эксплуатационной интенсивности отказов [9].

Опыт в области ДООИ ЭРИ перед их установкой в КА позволяет предложить способ определения $K_{ИТЦ}$ с помощью метода оценки коэффициентов, характеризующих степень отличия ЭРИ, успешно прошедших ДООИ и полученных с завода-изготовителя [10].

Суть метода заключается в том, что, исходя из общепринятой функции интенсивности отказов ЭРИ во времени, требуемый срок службы ЭРИ без отбраковки в составе аппаратуры соответствует периоду безотказности ЭРИ, обеспечиваемой базовой среднегрупповой интенсивностью отказов и полями допусков параметров ЭРИ по техническому условию (ТУ) (см. рис. 1) [11].

Результат анализа статистики отказов показывает, что при штатной эксплуатации аппаратуры отказы ЭРИ носят в основном параметрический характер, т. е. возникают отказы типа “выход за поле допуска”. ДООИ позволяют классифицировать элементы с суженными значениями параметров по сравнению с полями допусков по ТУ. Это ведёт к увеличению продолжительности периода стабильной интенсивности отказов ЭРИ, прошедших классификацию.

Справедливость такого подхода основана на том, что при оценке интенсивности отказов по результатам испытаний за отказ принимают полную потерю работоспособности или уход параметров-критериев годности за нормы, установленные в ТУ. Иллюстрация данного подхода приведена на рис. 2.

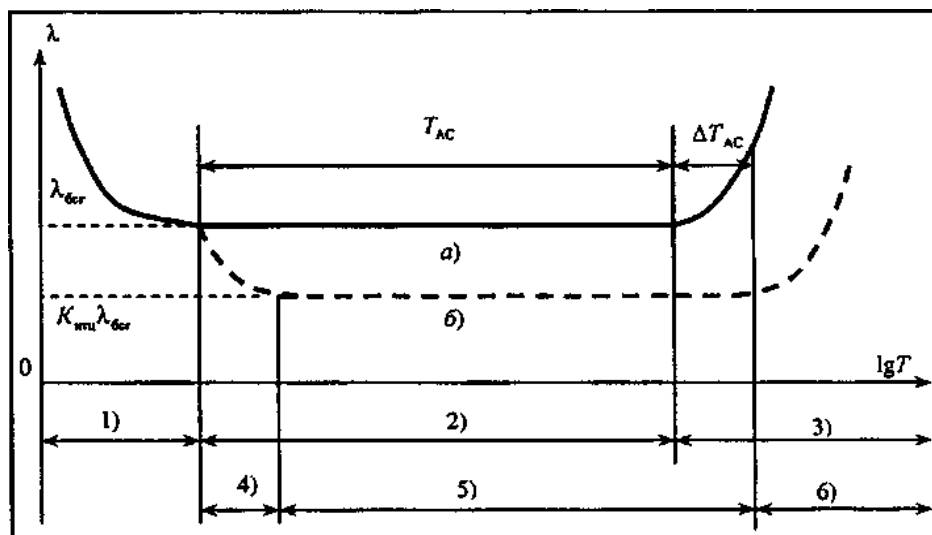


Рис. 2. Уточнение функции интенсивности отказов для ЭРИ, прошедших ОИ:
а – без ОИ; б – прошедших ОИ; $T_{АС}$ – гарантийный срок службы аппаратуры и КА, обеспечиваемый участком стабильной интенсивности отказов ЭРИ по техническим условиям; $\Delta T_{АС}$ – прирост $T_{АС}$ за счёт ОИ в ИТЦ

Fig. 2. Refinement of the function of the failure rate for EEEs, past AST:
a – without AST; b – passed AST; T_{AC} – warranty period of the equipment and SC provided by the area of stable failure rate of ERI according to technical conditions; ΔT_{AC} – T_{AC} increase due to additional AST in testing technical centers

На рис. 2 приведены следующие периоды:

- 1) период приработки ЭРИ на заводе-изготовителе;
- 2) период стабильной эксплуатации ЭРИ, не подвергнутых ДООИ;
- 3) период износа и старения ЭРИ, не подвергнутых ДООИ;
- 4) период ДООИ ЭРИ всей партии;
- 5) период стабильной эксплуатации ЭРИ, подвергнутых ДООИ;
- 6) период износа и старения ЭРИ, подвергнутых ДООИ.

С учетом того, что результаты испытаний по каждому виду дополнительных испытаний являются независимыми событиями, $K_{ИПЦ}$ определяется выражением:

$$K_{ИПЦ} = \prod_1^n k_i,$$

где k_i – коэффициент запаса по i видам ОИ; n – количество видов ДООИ. Конкретное значение $K_{ИПЦ}$ зависит от объема ДООИ.

За основу ДООИ для ЭРИ НСО приняты ОИ, проводимые для ЭРИ, входящих в состав космического аппарата, модифицированные под требования ТЗ АО «ИСС». В результате определен состав и объем испытаний для НСО [10].

В состав дополнительных испытаний ЭРИ входят до 100 % ЭРИ и реле для комплектующих изделия БИАБ-200ЛИ и ИБС-160/4-8. Объем дополнительных испытаний ЭРИ ИП, комплектующих изделия БИАБ-200ЛИ и ИБС-160/4-8, приведен в табл. 1.

Таблица 1

Объем дополнительных испытаний

№	Вид испытаний	Выборка, %	Примечание
1	Сериализация элементов	100	
2	Измерение электрических параметров в нормальных условиях	100	с записью параметров
3	Статистическая обработка результатов измерений, установление норм «ужесточения» параметров		
4	Классификация по ужесточенным нормам на электрические параметры	100	в соответствии с установленными ужесточенными нормами с записью параметров
5	Электротермотренировка	100	не менее 72 ч при 125 °С
6	Измерение электрических параметров в нормальных условиях	100	с записью параметров
7	Статистическая обработка результатов измерений и установление норм по дрейфу параметров	100	
8	Классификация по дрейфу параметров	100	в соответствии с установленными нормами с записью параметров

Необходимо подчеркнуть, что коэффициент k_i для испытаний, связанных с измерением электрических параметров, является комплексным, так как учитывает все электрические параметры, участвующие в классификации, и определяется по формуле:

$$k_i = \max k_j,$$

где k_j – коэффициент по каждому параметру ДОО.

Таким образом, обобщенный коэффициент запаса по параметрической надежности конкретной партии ЭКБ, в соответствии с табл. 1 будет равен:

$$K_{ИТЦ} = k_{УН} \times k_{Д},$$

где $k_{УН}$ – классификация по ужесточенным нормам, $k_{Д}$ – оценка дрейфа параметров.

В минимальный состав дополнительных испытаний ЭРИ ИП, комплектующих изделия БИАБ-200ЛИ и ИБС-160/4-8 входят 100 % ЭРИ:

- 1) микросхемы, ОЭП и генераторы;
- 2) источники вторичного электропитания в модульном исполнении;
- 3) полупроводниковые приборы с малым размером корпуса;
- 4) полупроводниковые приборы с достаточным размером корпуса для сериализации [12].

По результатам проведенных испытаний мы составили настоящий акт о том, что АО «ИТЦ – НПО ПМ» выполнена работа по теме «Проведение дополнительных испытаний ЭРИ, предназначенных для установки в изделия ИБС-160/4-8 и БИАБ-2000ЛИ» в соответствии с условиями договора заключенного между АО «ИТЦ – НПО ПМ» и «НИИ АЭТ ТУ СУР» [13; 14].

ДОО ЭРИ проводились в соответствии с ТЗ на выполнение составной части ОКР.

Результаты проведения ДОО ЭРИ (количество испытанных, годных, забракованных и отнесенных к категории потенциально ненадежных (ПН)), предназначенных для комплектации изделий БИАБ-200ЛИ и ИБС-160/4-8, представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты проведения дополнительных испытаний

Наименование	Количество ЭРИ			
	Испытано	Годные	Брак	Потенциально ненадежные
Генераторы	117	115	0	2
Диоды	31787	31171	305	313
Микросхемы	11623	11104	115	404
Реле	1749	1663	13	73
Стабилитроны	2840	2624	67	149
Тиристоры	1030	842	2	186
Транзисторы	5505	5255	4	246

Для привязки полученного коэффициента необходимо провести математический расчет надежности ИБС-160 – это вероятность безотказной работы (ВБР) в программе АСРН-2006.

Для расчета эксплуатационной интенсивности отказов ЭРИ отечественного производства используются модели, приведенные в справочнике [15].

Справочник содержит сведения, предназначенные для использования при расчетах показателей надежности аппаратуры, состава комплектов ЗИП аппаратуры военного назначения и прогнозирования надежности новых типов ЭРИ в соответствии с требованиями основополагающих документов по стандартизации.

Для расчета эксплуатационной интенсивности отказов ЭРИ иностранного производства (ЭРИ ИП) используются модели, приведенные в справочнике [16].

Результаты расчета. Расчеты показывают, что ВБР ИБС-60/4-8 составляет 0,94677 за 1000 ч эксплуатации, что соответствует требованиям технического задания.

С учетом коэффициента $K_{ИПЦ}$, полученного в расчётах и учитывающего влияние ДОО на надёжность НСО, значение ВБР ИБС-160/4-8 составило 0,96599 за 1000 ч эксплуатации.

Анализ расчёта приводит к следующим выводам:

1. Дополнительные испытания влияния различных факторов на интенсивность отказов конкретной партии показали, что отбраковка на соответствие ТУ с последующим изъятием некачественных изделий из заводской партии привела к существенному уменьшению вероятности отказа КПА.

2. Возможны оценки коэффициентов $K_{ИПЦ}$ для любых партий ЭРИ за определённый период их изготовления (за один год) и выдача рекомендаций по проведению испытаний с целью уменьшения их объёма и повышения доверительных вероятностей по параметрам.

Заключение. Высокие требования к надёжности НСО для ЭИ КА привели к необходимости проведения дополнительных отбраковочных испытаний в специальных испытательных технических центрах, где должны проводиться проверки показателей количества отказов по доверительным вероятностям. Данные испытания приводят к удорожанию изготавливаемой продукции до 40 % от стоимости. Тем не менее введение дополнительных отбраковочных испытаний в технологический процесс изготовления наземного силового оборудования оправдывает увеличение стоимости за счёт снижения рисков выхода из строя объектов испытаний. Ввод дополнительных отбраковочных испытаний в технологический процесс изготовления наземного силового оборудования – следующая ступень в методах повышения надёжности [17].

Библиографические ссылки

1. Лизунов А., Тарасов В. Методика ускоренных термовакуумных испытаний аккумуляторных батарей для космического аппарата // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Серия «Машиностроение». 2011. № 3. С. 43–47.

2. ГОСТ Р 56469-2015. Аппараты космические автоматические. Термобалансные и термовакуумные испытания. М., 2017. 15 с.

3. Анализ статистики отказов и увеличение надёжности наземного силового оборудования производства НИИАЭМ ТУСУР / Ю. В. Алисеенко, Д. В. Иванов, О. В. Бубнов, В. И. Пантелеев // Электронные и электромеханические системы и устройства : материалы науч.-техн. конф. молодых специалистов (12–13 апреля 2018, г. Томск). С. 31–33.

4. Алисеенко Ю. В., Леонов С. Н., Головкин В. В. Разработка имитатора солнечных батарей с функцией резервирования и с увеличенным временем бесперебойной работы // Технические науки: фундаментальные и прикладные исследования : материалы междунар. науч. конф. молодых ученых (2016, г. Новосибирск). С. 5–10.

5. Федосов В. В. Надёжность систем управления космических аппаратов. Красноярск, 2017. 360 с.

6. Schwank J. R., Sexton F. W., Fleetwood D. M. Temperature effects on the radiation response of MOS devices // IEEE Trans. 1988. Vol. 6. P. 1432–1437.

7. Данилин Н. С. Информационные технологии и сертификация элементной базы новых российских телекоммуникаций. М. : РТА ГТК, 2000. С. 76–78.

8. Урличич Ю. М., Данилин Н. С. Управление качеством космической радиоэлектронной аппаратуры в условиях глобальной открытой экономики. М. : МАКС Пресс, 2003. С. 198–199.

9. Федосов В. В, Патраев В. Е. Повышение надежности радиоэлектронной аппаратуры космических аппаратов при применении электрорадиоизделий, прошедших дополнительные отбраковочные испытания в специализированных испытательных технических центрах // Авиакосмическое приборостроение. 2006. № 10. С. 50–55.
10. Горлов М., Ануфриев Л., Строгонов А. Отбраковочные технологические испытания как средство повышения надежности партий ИС // Chip News. 2001. No. 5.
11. РД В 22.32.119-89. Методическое пособие по выбору и использованию методов и средств электрофизического диагностирования электрорадиоизделий. 22 ЦНИИ МО РФ, 1989. 210 с.
12. Integrated circuits, monolithic. ESA/SCC. Generic Specification No 9000. 1998. P 36.
13. РД 11 0682-89. Микросхемы интегральные. Методы неразрушающего контроля диагностических параметров. 1990. 77 с.
14. Федосов В. В, Орлов В. И. Минимально необходимый объем испытаний изделий микроэлектроники на этапе входного контроля // Изв. вузов. Приборостроение. 2011. Т. 54, № 4. С. 58–62.
15. Надёжность ЭРИ : справочник // С. Ф. Прытков, В. М. Горбачева, А. А. Борисов и др./ Науч. рук. С. Ф. Прытков. М. : 22 ЦНИИ МО РФ, 2006. 641 с.
16. Надёжность ЭРИ ИП : справочник. СПб. : Электронстандарт, 2006. 52 с.
17. Увеличение надежности и технико-экономическое обоснование вариации наземного силового оборудования производства НИИАЭМ ТУСУР / Ю. В. Алисеенко, Е. О. Воронцова, А. А. Правикова и др. // Инновационная деятельность в науке и технике. Электромеханика, автоматика и робототехника : тез. докл. второй молодёж. конф. (28 апреля 2018, г. Истра). С. 5–7.

References

1. Lizunov A, Tarasov V. [Methodology for accelerated thermal vacuum tests of storage batteries for a spacecraft]. *Vestnik MGTU*. 2011, No. 3, P. 43–47 (In Russ.).
2. GOST R 56469-2015. *Apparaty kosmicheskiye avtomaticheskkiye. Termobalansnyye i termovakuumnyye ispytaniya* [State Standard R 56469-2015. Space automatic devices. Thermal balance and thermal vacuum tests]. Moscow, 2017. 15 p.
3. Aliseenko Y. V., Ivanov D. V., Bubnov O. V., Panteleev V. I. [Analysis of failure statistics and increased reliability of ground power equipment manufactured by NIIEAEM TUSUR]. *Materialy Nauchno tekhnicheskoy konferentsii molodykh spetsialistov "Elektronnyye i elektromekhanicheskiye sistemy i ustroystva"* [Materials of the Scientific and Technical Conference of Young Specialists "Electronic and Electromechanical Systems and Devices"]. Tomsk, 2018, p. 31–33 (In Russ.).
4. Aliseenko Y. V., Leonov D. V., Golovko V. V. [Development of a solar simulator with redundancy and longer uptime]. *Materialy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii molodykh uchenykh "Tekhnicheskiye nauki: fundamental'nyye i prikladnyye issledovaniya"*. [Materials of the international scientific conference of young scientists "Engineering: fundamental and applied research"]. Novosibirsk, 2016, P. 5–10 (In Russ.).
5. Fedosov V. V. *Nadezhnost' sistem upravleniya kosmicheskikh apparatov* [Reliability of the control systems of spacecraft]. Krasnoyarsk, 2017, 360 p.
6. Schwank J. R., Sexton F. W., Fleetwood D. M. Temperature effects on the radiation response of MOS devices. *IEEE Trans*, 1988, Vol. 6. P. 1432–1437.

7. Danilin N. S. *Informatsionnyye tekhnologii i sertifikatsiya elementnoy bazy novykh rossiyskikh telekommunikatsiy* [Information technology and certification of the element base of new Russian telecommunications]. Moscow, RTA GTK, 2000, P. 76–78.
8. Urlichich Y. M., Danilin N. S. *Upravleniye kachestvom kosmicheskoy radioelektronnoy apparatury v usloviyakh global'noy otkrytoy ekonomiki* [Quality management of space electronic equipment in a global open economy]. Moscow, Maks Press Publ., 2003, P. 198–199.
9. Fedosov V. V., Patraev V. E. [Improving the reliability of spacecraft electronic equipment when using electronic radio products that have undergone additional screening tests in specialized testing technical centers]. *Aviakosmicheskoye priborostroyeniye*. 2006, No. 10, P. 50–55 (In Russ.).
10. Gorlov M., Anufriev L., Stroganov A. [Screening technology tests as a means of increasing the reliability of IP batches]. *Chip News*. 2001, No. 5 (In Russ.).
11. RD V 22.32.119-89. *Metodicheskoye posobiye po vyboru i ispol'zovaniyu metodov i sredstv elektrofizicheskogo diagnostirovaniya elektroradioizdeliy* [Methodological manual on the selection and use of methods and means of electrophysical diagnosis of radio products]. 22 CNII MO RF, 1989, 210 p.
12. Integrated circuits, monolithic. ESA/SCC. Generic Specification No 9000. 1998, P. 36.
13. RD 11 0682-89. *Mikroskhemy integral'nyye. Metody nerazrushayushchego kontrolya diagnosticheskikh parametrov* [Integrated circuits. Non-destructive testing methods for diagnostic parameters]. 1990, 77 p.
14. Fedosov V. V., Orlov V. I. [The minimum required test volume of microelectronics products at the input control stage]. *Izv. Vuzov. Priborostroyeniye*. 2011, Vol. 54, No. 4, P. 56–62 (In Russ.).
15. Pritkoe S. F., Gorbacheva V. M., Borisov A. A. *Nadezhnost' ERI* [EEEs Reliability]. Moscow, 22 CNII MO RF, 2006, 641 p.
16. *Nadezhnost' ERI IP* [EEEs Reliability of foreign manufacture]. St. Petersburg, RNII Electronstandart Publ., 2006, 52 p.
17. Aliseenko Y. V., Vorontsova E. O., Pravikova A. A. [Increased reliability and feasibility study of ground power variation equipment manufactured by NIIAEM TUSUR]. *Tezisy dokladov vtoroy molodozhnoy konferentsii "Innovatsionnaya deyatel'nost' v nauke i tekhnike. Elektromekhanika, avtomatika i robototekhnika"* [Abstracts of the second youth conference "Innovation in science and technology. Electromechanics, automation and robotics"]. Istra, 2018, P. 5–7 [In Russ.].

Алисеенко Ю. В., Нестеришин М. В., Воронцова Е. О., Федосов В. В.,
Пантелеев В. И., 2019

Алисеенко Юрий Владимирович – инженер-конструктор; АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». E-mail: Yupik922@iss-reshetnev.ru.

Нестеришин Михаил Владленович – начальник отдела бортовых систем электропитания; АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». E-mail: Micky-Nest@iss-reshetnev.ru.

Воронцова Евгения Олеговна – инженер; АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». E-mail: Jenvoroncova@gmail.com.

Федосов Виктор Владимирович – заместитель директора; АО «Испытательный технический центр – НПО ПМ».

Пантелеев Василий Иванович – профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой электротехнических комплексов и систем; Сибирский федеральный университет. E-mail: Vpanteleev@sfu-kras.ru.

Aliseenko Yuriy Vladimirovich – design engineer; JSC “Academician M. F. Reshetnev Information Satellite Systems”. E-mail: Yupik922@iss-reshetnev.ru.

Nesterishin Michael Vladlenovich – head of Onboard Power Supply Department; JSC “Academician M. F. Reshetnev Information Satellite Systems”. E-mail: Micky-Nest@iss-reshetnev.ru.

Vorontsova Evgeniya Olegovna – engineer; JSC “Academician M. F. Reshetnev Information Satellite Systems”. E-mail: Jenvoroncova@gmail.com.

Fedosov Victor Vladimirovich – deputy director; Joint Stock Company “Testing Technical Center”.

Panteleev Vasiliy Ivanovich – Dr. Sc., Professor, Head of Department Electrical complexes and systems; Siberian Federal University. E-mail: Vpanteleev@sfu-kras.ru.