

на этапе проектирования ВЗП, с применением модельного подхода для анализа (реализованного в виде конечно-элементного расчета). Приведен анализ влияния нагрузки на характер взаимодействия звеньев ВЗП с коротким гибким колесом, которое одновременно выполняет роль внешнего кольца гибкого подшипника. Предложено рассматривать систему проектных параметров ВЗП во взаимосвязи с условиями эксплуатации с учетом минимизации износных процессов и обеспечения заданной точности обработки угловых перемещений.

Библиографические ссылки

1. Усаков В. И. Обеспечение работоспособности механизмов приводов космических аппаратов // Решетневские чтения : материалы XV Междунар. науч. конф. В 2 ч. / под общ. ред. Ю. Ю. Логинова ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2011. Ч. 1.

2. Дроздов Ю. Н., Павлов В. Г., Пучков В. Н. Трение и износ в экстремальных условиях : справочник. М. : Машиностроение, 1986.

3. Иванов М. Н. Волновые зубчатые передачи. М. : Высшая школа, 1981.

4. Марчук А. С. Аналитический способ назначения параметров переходной кривой зуба эвольвентной передачи // Вестник Белорус. нац. техн. ун-та. 2004. № 3. С. 71–80.

5. Механика современных специальных систем: технологии, оборудование, исполнительные системы, устройства, узлы, проектирование, показатели качества, САПР : монография. В 3 т. Т. 3 / Н. В. Василенко [и др.] ; под ред. Н. В. Василенко, Н. И. Галибей. Красноярск : Печатные технологии, 2004. Т. 3.

© Лукин Р. С., Усаков В. И., Вавилов Д. В., Иптышев А. А., 2013

УДК 629.78.051.017.1

ВОПРОСЫ РАЗРАБОТКИ ТИПОВОЙ ПРОГРАММЫ СЕРТИФИКАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРОРАДИОИЗДЕЛИЙ ИНОСТРАННОГО ПРОИЗВОДСТВА, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ОТЕЧЕСТВЕННЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТАХ ДЛИТЕЛЬНОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

Р. А. Матюшев, В. Е. Патраев

ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева
Россия, 662972, г. Железногорск Красноярского края, ул. Ленина, 52. E-mail: mroman@iss-reshetnev.ru

Рассмотрены проблемные вопросы применения электрорадиоизделий иностранного производства (ЭРИ ИП), проблемы проведения сертификационных испытаний, зарубежные уровни качества интегральных микросхем иностранного производства, а также вопросы разработки типовой программы сертификационных испытаний ЭРИ ИП.

Ключевые слова: ЭРИ ИП, сертификация, надежность.

QUESTIONS OF DEVELOPMENT OF A STANDARD PROGRAM OF CERTIFIED TESTS OF ELECTRIC RADIO PRODUCTS OF FOREIGN MANUFACTURE APPLIED IN DOMESTIC SPACECRAFTS OF LONG FUNCTIONING

R. A. Matyushev, V. E. Patraev

JSC “Academician M. F. Reshetnev “Information Satellite Systems”
52, Lenin street, Zhelenogorsk, Krasnoyarsk region, 662972, Russia. E-mail: mroman@iss-reshetnev.ru

Problem questions of application of foreign electric radio products, problems of certified test operations, foreign levels of quality of integrated chips of foreign production, as well as questions of development of a standard program of certified tests of foreign electric radio products are considered.

Keywords: foreign electric radio products, certification, reliability.

Существенное технологическое отставание в отечественном производстве электрорадиоизделий вынудило предприятия, занимающиеся изготовлением современных и перспективных отечественных космических аппаратов (КА) со сроками активного существования (САС) 15 и более лет использовать ЭРИ ИП.

Анализ эксплуатационной надежности ряда современных отечественных КА показал, что на этапе

эксплуатации преобладают неисправности, связанные с отказами ЭРИ, поэтому вопросы обеспечения и повышения надежности применяемой ЭКБ, принимают первостепенное значение [1; 2].

БА современных КА комплектуется электрорадиоизделиями отечественного и иностранного производства. Изготавливаемые отечественные ЭРИ ОП отличаются ограниченной номенклатурой и такими

техническими показателями, которые не позволяют в полной мере реализовать требуемые эксплуатационно-технические и массо-габаритные характеристики БА КА, например, обеспечить требуемые точность, радиационную стойкость, минимальную наработку на отказ и сложные схемотехнические решения. В связи с этим, при разработке БА применяются ЭРИ ИП. Доля импортной микроэлектроники в аппаратуре преобладает и зависит от типа и назначения КА. Например, в КА коммерческого назначения она достигает 80 % [4].

При создании таких КА необходимо применение соответствующей методологии обеспечения надежности КА и составных частей [3], что неразрывно связано с целым комплексом проблем по их сертификации [4]:

- отсутствием типовой программы проведения сертификационных испытаний ЭРИ ИП уровня качества Military и Space;
- отсутствием типовой программы проведения отбраковочных испытаний ЭРИ ИП уровня качества Industrial;
- проблемой рационализации объемов сертификационных испытаний.

Рассмотрим основные проблемы разработки типовой программы проведения сертификационных испытаний ЭРИ ИП уровня качества Military и Space.

Для начала на примере интегральных микросхем рассмотрим вопрос об определении уровней качества Military и Space. Общая спецификация на монолитные интегральные микросхемы определяет следующие классы: M, N, Q, V, B, S, T [5].

Стоит отметить, что уровень качества (согласно MIL-PRF-38535) определяется исходя из объема пройденных испытаний. Наибольший объем испытаний проходят классы Q и V.

Под объемом испытаний понимается количество видов отбраковочных испытаний и их режимы.

Если сравнить уровни качества Q и V, то можно сделать вывод, что ЭРИ ИП уровня качества V проходят наибольший объем испытаний. Уровень V, таким образом, будем условно обозначать как уровень качества Space, а уровень Q будем условно обозначать как уровень качества Military.

Приведем объемы отбраковочных и квалификационных испытаний, а также их сравнение с требованиями отечественной документации (табл. 1, 2) [5; 6].

Таблица 1

Объем отбраковочных испытаний по MIL-PRF-38535 и по ОСТ В 11 0398–2000

Объем отбраковочных испытаний по MIL-PRF-38535	Объем отбраковочных испытаний по ОСТ В 11 0398–2000
Electrostatic Discharge Sensitivity (ESD) (Чувствительность к разряду статического электричества)	Отсутствует*
Wafer acceptance (Приемка пластин)	Отсутствует
Internal visual (Внутренний визуальный контроль)	Имеется
Temperature cycling (Термоциклирование)	Отсутствует
Constant acceleration (Линейное ускорение)	Имеется
Serialization (Сериализация)	Отсутствует
Interim (pre burn-in) electrical parameters (Измерение электрических параметров перед ЭТТ)	Имеется
Burn-in test (ЭТТ)	Имеется
Interim (post burn-in) electrical parameters (Измерение электрических параметров после ЭТТ)	Имеется
Percent Defective Allowable (PDA) calculation (Подсчет процента микросхем, прошедших в негодность после ЭТТ)	Отсутствует
Final electrical test (Измерение электрических параметров)	Имеется
Seal (Тест на герметичность в гелиевой среде и в барокамере)	Имеется
External visual (Визуальная проверка внешнего вида)	Имеется

* Имеется в объеме квалификационных испытаний по ОСТ В 11 0398–2000.

Таблица 2

Объем квалификационных испытаний по MIL-PRF-38535 и по ОСТ В 11 0398–2000

Вид группы	Объем квалификационных испытаний по MIL-PRF-38535	Объем квалификационных испытаний по ОСТ В 11 0398–2000
Group A (Группа А)	Electrical tests. (Электрические испытания)	Имеется
Group B (Группа Б)	Resistance to solvents (На стойкость к растворителям)	Отсутствует
	Bond strength (Испытание выводов на воздействие растягивающей силы)	Имеется
	Die shear test or stud pull (Испытание на сдвиг кристалла или испытание на прочность выводов)	Имеется
	Solderability (Стойкость к пайке)	Имеется
Group C (Группа В)	Steady-state life test (Испытание на долговечность)	Имеется
Group D (Группа Г)	Physical dimensions (Физические размеры)	Имеется
	Lead integrity (Целостность выводов)	Имеется

Вид группы	Объем квалификационных испытаний по MIL-PRF-38535	Объем квалификационных испытаний по ОСТ В 11 0398–2000
Group D (Группа Г)	Seal (Тест на герметичность в гелиевой среде и в барокамере)	Имеется
	Thermal shock (Термоудар)	Отсутствует
	Temperature cycling (Термоциклирование)	Имеется
	Moisture resistance (Стойкость к влаге)	Имеется
	Seal (Тест на герметичность в гелиевой среде и в барокамере)	Имеется
	Visual (Визуальная проверка внешнего вида)	Имеется
	Shock (Удар одиночного действия)	Имеется
	Vibration, variable frequency (Вибрация)	Имеется
	Acceleration (Линейное ускорение)	Имеется
	Seal (Тест на герметичность в гелиевой среде и в барокамере)	Имеется
	Visual examination (Визуальная проверка внешнего вида)	Имеется
	Salt atmosphere (На воздействие соляного тумана)	Имеется
	Seal (Тест на герметичность в гелиевой среде и в барокамере)	Имеется
	Visual (Визуальная проверка внешнего вида)	Имеется
	Internal water vapor (Наличие паров воды в подкорпусном пространстве)	Имеется
	Adhesion of lead finish (Целостность покрытия выводов)	Отсутствует
Lid torque (Герметичность)	Отсутствует	

Согласно данным табл. 1, 2 можно сделать следующие выводы.

1. В объеме отбраковочных испытаний, регламентированных отечественной НТД, отсутствуют:

- Electrostatic Discharge Sensitivity (ESD) (Чувствительность к разряду статического электричества);
- Temperature cycling (Термоциклирование);
- Percent Defective Allowable (PDA) calculation (Подсчет процента микросхем, пришедших в негодность после ЭТТ).

2. В объеме квалификационных испытаний отсутствуют:

- Resistance to solvents (Испытаний на стойкость к растворителям);
- Thermal shock (Термоудар);
- Adhesion of lead finish (Испытание на целостность покрытия выводов);
- Lid torque (Испытание на герметичность).

Важно отметить тот факт, что в табл. 1, 2 не отображены требования, которые отсутствуют в MIL-PRF-38535, но присутствуют в отечественной документации.

В настоящее время формируется два подхода к проведению сертификационных испытаний:

- по определению уровня качества;
- по определению объема испытаний.

В первом подходе подразумевается, что наличие сертификата изготовителя достаточно для определения уровня качества. Такой подход приводит к упрощению СИ, но это идет в ущерб надежности КА, и не исключает применение контрафактных ЭРИ ИП.

При втором подходе подразумевается, что необходимо тщательно изучать объем и методы проведения испытаний ЭРИ ИП на этапе изготовления и прохождения квалификации.

Второй подход можно считать предпочтительнее по нескольким причинам, в частности:

- **позволяет выявить отличия в методах проведения испытаний** в зарубежной документации;

- **позволяет определить состав проведения испытаний ЭРИ ИП** на этапе изготовления и квалификации.

- позволяет сравнить требования, предъявляемые к ЭРИ отечественной НТД;

- позволяет установить возможность применения ЭРИ ИП без проведения дополнительных испытаний на территории РФ;

- позволяет проводить контроль за ЭРИ ИП, например, прослеживать номер пластины, на которой были проведены испытания.

Разумеется, отсутствие, какого либо испытания в зарубежной документации не означает, что требование к данному виду испытания можно не предъявлять по причине его отсутствия. В данном случае есть два пути:

- проведение испытаний;
- признание данного испытания пройденным, если были проведены испытания в процессе изготовления и квалификации ЭРИ ИП, которые косвенно могут подтвердить выполнение требований к ЭРИ ИП.

В данном случае, необходимо принятие **технически обоснованных решений, опираясь на отечественную нормативную документацию.**

Таким образом, можно сделать вывод, что при разработке типовой программы сертификационных испытаний необходимо руководствоваться подходом в виде тщательного анализа объемов и методов проведения испытаний ЭРИ ИП, позволяющим исключить использование контрафактных ЭРИ ИП, а также ЭРИ ИП низкого уровня качества. В свою очередь, это приведет к обеспечению качества партий ЭРИ ИП и, следовательно, к обеспечению надежности БА КА длительного функционирования.

Библиографические ссылки

1. *Матюшев Р. А., Патраев В. Е., Кочура С. Г.* Вопросы обеспечения надежности бортовой аппара-

туры космических аппаратов длительного функционирования // Решетневские чтения : материалы XV Междунар. науч. конф., посвящ. памяти генер. конструктора ракет.-космич. систем акад. М. Ф. Решетнева. Красноярск, 2011. Ч. 1.

2. Патраев В. Е., Трифанов И. В. Анализ показателей качества и надежности при эксплуатации современных космических аппаратов // Вестник СибГАУ. Красноярск, 2010. Вып. 2(28). С. 110–113.

3. Патраев, В. Е. Методы обеспечения и оценка надежности космических аппаратов с длительным сроком активного существования : монография ; СибГАУ. Красноярск, 2010.

4. Матюшев Р. А., Патраев В. Е. Вопросы сертификационных испытаний электрорадиоизделий иностранного производства, применяемых в отечественных космических аппаратах длительного функционирования // Авиакосмическое приборостроение. Москва, 2012. Вып. 9.

5. MIL-PRF-38535. Performance specification. Integration circuits (microcircuits) manufacturing, general specification for.

6. ОСТ В 11 0398-2000. Микросхемы интегральные. Общие технические условия.

© Матюшев Р. А., Патраев В. Е., 2013

УДК 629.78.015

НОРМИРОВАНИЕ И ОТРАБОТКА БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

С. А. Орлов, В. И. Копытов

ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева
Россия, 662972, г. Железногорск Красноярского края, ул. Ленина, 52. E-mail: srgorlov@iss-reshetnev.ru

Рассматриваются проблемы, возникающие при нормировании и отработке бортовой аппаратуры КА негерметичного исполнения на механические воздействия. Предлагаются подходы, позволяющие сформировать режимы испытаний бортовой аппаратуры на основе результатов измерений нагрузок на различных этапах испытаний КА, и реализовать их на этапе автономной отработки бортовой аппаратуры.

Ключевые слова: аппаратура, спектральная плотность, ударный спектр ускорений.

RATE MAKING AND DEVELOPMENT OF SPACECRAFT ONBOARD EQUIPMENT TO MECHANICAL ENVIRONMENT

S. A. Orlov, V. I. Kopytov

JSC “Academician M. F. Reshetnev” Information Satellite Systems”
52 Lenin street, Zhelenogorsk, Krasnoyarsk region, 662972, Russia. E-mail: srgorlov@iss-reshetnev.ru

The article considers the problems appearing at rate making and development of spacecrafts onboard equipment of unpressurized type of enclosure on mechanical excitation. Proposed approaches are able to generate test environment of onboard equipment, on the basis of results of measurements at different stages of spacecraft testing, and implement them at the stage of autonomous development of on-board equipment.

Keywords: equipment, spectral density, shock spectrum of accelerations.

В настоящее время отечественные, как и зарубежные космические аппараты (КА), стали выполняться по негерметичной схеме. Силовой основой таких КА являются сотовые панели и конструкции из композиционных материалов. В результате чего меняются жесткостные и демпфирующие свойства КА, способы крепления бортовой аппаратуры (БА), и как следствие, нагрузки на сами КА и входящую в их состав аппаратуру. В тоже время существующая нормативная документация, регламентирующая нагрузки на БА, и методики отработки, остаются неизменными уже более 30 лет и значительно отличаются от действующих зарубежных стандартов [1; 2]. Выходом из сложившейся ситуации является разработка методик нормирования и испытаний БА по результатам изме-

рений нагрузок на различных этапах испытаний КА с последующей автоматизированной обработкой экспериментальных данных, так как результаты измерений даже одного КА требуют обработки и анализа сотен, а то и тысяч виброграмм.

При разработке и испытаниях бортовой аппаратуры космических аппаратов необходимо учитывать все внешние воздействующие факторы. Информацию о механических нагрузках на КА и аппаратуру несет в себе нормативная функция внешнего нагружения (воздействия), являющаяся непрерывно изменяющимся пространственным векторным полем системы функций времени и нагрузки [3]. Ошибка в задании величины нагрузок на бортовую аппаратуру или неправильная оценка их влияния может привести либо