

Дополнительные отбраковочные испытания современной космической электронной компонентной базы

Юрий Урличич, Николай Данилин, Дмитрий Чернов, Александр Сашов, Сергей Белослудцев, Александр Степанов (Москва)

В статье впервые представлена информация о современных методах и инструментальных средствах отбраковки космической электронной компонентной базы. Материалы отражают мировой уровень космической индустрии и получены в результате выполнения совместных проектов Роскосмоса (ФГУП «РНИИ КП») и Европейского космического агентства в течение 1993–2006 гг., включая программы Европейского сообщества (ЕС) Tacis (фирм Великобритании – IGG, Spur, Испании – Tecnologica и Германии – EADS Astrium).

В настоящее время космическая технология так широко вошла в современную жизнь общества, что отказ от неё отбросил бы развитие цивилизации далеко назад. Мы всё в большей степени зависим от эффективной работы различных космических систем. Сегодня невозможно представить себе, что прогноз погоды, разведка полезных ископаемых,

мониторинг окружающей среды, развитие телекоммуникаций и телевидения, обеспечение обороноспособности и ещё много других задач решалось бы без средств космического базирования. Если первые космические аппараты (КА) функционировали в течение года, то в настоящее время стоит задача обеспечения сроков активного функционирования КА в

течение 10 – 12 лет, а в перспективе – 15 лет и более.

Космос – некая экстремальная окружающая среда, где сделанные человеком системы редко получают второй шанс. Поэтому исключительное внимание требуется уделить качеству электронной компонентной базы (ЭКБ), предназначенной для систем длительных сроков активного существования.

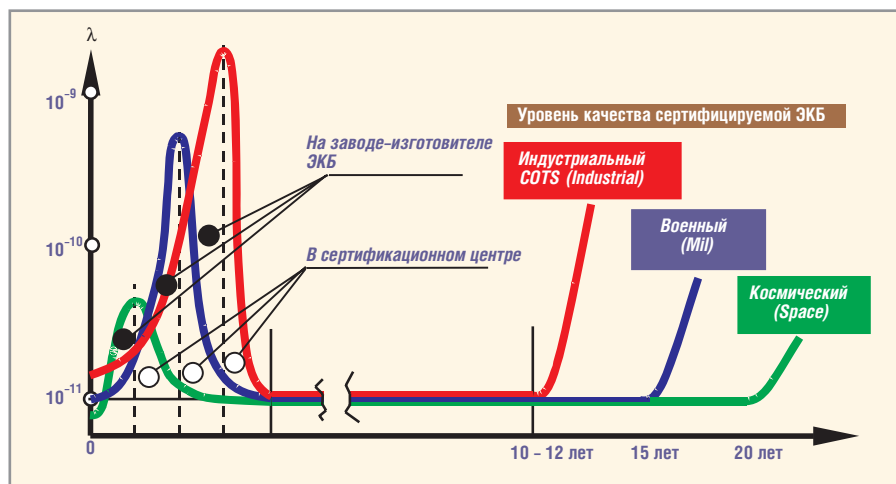
Более 16 лет «Научный центр сертификации элементов и оборудования» (НЦ СЭО) ФГУП «Российский научно-исследовательский институт космического приборостроения» (ФГУП «РНИИ КП») обеспечивает сервис по поставке ЭКБ для отечественной космической индустрии.

Используя наиболее совершенные испытания, измерения и достижения технологий обеспечения качества в сочетании с опытом менеджмента, НЦ СЭО удовлетворяет большинство запросов заказчика.

Длительная практика НЦ СЭО демонстрирует, что тесное сотрудничество с изготовителями ЭКБ необходимо для поставки качественных компонентов, экономической эффективности и соблюдения сроков поставки.

Для всех космических систем в процессе отбраковочных испытаний ЭКБ обязательно производится тренировка. Известно, что отказы возможны даже в хорошо освоенном производстве. По этой причине для обеспечения надёжности партии компонентов производится тренировка на входном контроле (рисунок) завода – изготовителя радиоэлектронной аппаратуры (РЭА). Теория и опыт показывают, что воздействие температуры и повышенного напряжения при тренировке ускоряют ранние отказы, тем самым сокращая их число при эксплуатации РЭА.

Эффективность отбраковки потенциально дефектных компонентов от-



Зависимость интенсивности отказов от времени для электронных компонентов в различном исполнении

Точки показывают два этапа отбраковки ЭКБ:

на заводе – изготовителе ЭКБ, где происходит основной отсев потенциально ненадёжных компонентов за счёт ужесточения режимов пооперационного и финишного контроля. Этот этап характерен для наиболее передовых фирм – производителей радиоэлектронной аппаратуры. Так, фирма Siemens с помощью своих специалистов контролирует отбор и тренировку ЭКБ на признанных ею лучших мировых электронных корпорациях, поставляющих ЭКБ для наиболее ответственной аппаратуры (космос, атомная промышленность);

в сертификационном центре, где происходит окончательная очистка партий ЭКБ от потенциально ненадёжных экземпляров. Использование первого этапа в максимальном объёме позволяет в ряде случаев свести второй этап к формальной сертификации ЭКБ и в целом резко повысить рентабельность космических систем

личается в лучшую сторону, если сам процесс происходит на заводе – изготовителе ЭКБ. Методология отбраковки ЭКБ включает в себя, как правило, последовательное проведение отбраковочных испытаний и технологического прогона.

Основным требованием к режимам и условиям проведения отбраковки ЭКБ является требование соблюдения принципа автономности, состоящего в обеспечении идентичности видов отказов и механизмов развития дефектов при испытаниях и реальной эксплуатации ЭКБ. Решение проблемы организации и проведения отбраковки ЭКБ предполагает выбор состава и уровней внешних факторов, которым должны подвергаться испытываемые образцы, режимов их работы, а также определение продолжительности тренировки. При проведении отбраковки обращают внимание на то, чтобы каждый вид воздействия «провоцировал» конкретные механизмы отказов, присущих испытываемой аппаратуре, её составным частям и комплектующим, а диагностический контроль позволял выявлять эти механизмы на ранних этапах как предшественников потенциальных отказов.

Дополнительные отборочные испытания, называемые отбраковкой, – это испытания более высокого уровня отбора при более жёстких предельных значениях, выполняемые в рамках максимальных оценок, с целью идентификации и устранения отказов. Они не повышают уровень качества компонента, но обеспечивают большее доверие к нему.

Этот термин обозначает группу дополнительных испытаний компонентов военного назначения с целью получения возможности их использования в космосе. Дополнительные испытания проводятся и в том случае, когда в рамках космической программы установленным порядком не может быть получена партия важных военных компонентов по причинам внезапного отказа, возникновения непредвиденных проблем с поставщиками, из-за устаревания компонентов или экспортных ограничений. Большинство космических программ обязано использовать высокий процент компонентов, прошедших отбраковку.

Тренировка – это метод отбраковки, при котором компоненты за-

ставляют работать некоторое время в определённых условиях окружающей среды с подачей или без подачи электрической нагрузки, рассчитанной таким образом, чтобы в процессе тренировки вызвать отказ потенциально ненадёжных схем, не повреждая качественные.

В условиях непрерывного усложнения современной РЭА многие потребители ЭКБ считают применение тренировок на входном контроле (особенно ИС) важнейшим средством повышения надёжности РЭА. Усилия, направленные на выявление качества компонентов для космоса, дают возможность НЦ СЭО обеспечивать проведение *дополнительных отборочных испытаний* (рисунок) в тех случаях, когда необходимые компоненты не могут быть легко поставлены. Такие испытания могут предотвратить множество ситуаций, когда, например, задержка по вине поставщика угрожает срывом сроков полёта или выполнение необходимых требований лежит за пределами производственных возможностей поставщика. Дополнительные отборочные испытания могут быть удобным решением, когда бюджет либо политическое противостояние препятствуют применению квалифицированных для космоса компонентов.

Результаты испытаний нескольких миллионов ИС, проведённых центральной лабораторией электротехнической промышленности Франции, показали, что до 2% ИС отказывают на этапе приработки. Если для примера изготовить электронные блоки, в которых установлены нетренированные ИС, то на этапе приёмочного контроля больше половины таких блоков оказываются дефектными.

В серийном производстве, чтобы выявить ранние отказы РЭА, проводится электротермотренировка ЭКБ и ускоренное испытание РЭА на срок службы (например, тренировка ЭКБ под нагрузкой в течение 168 ч при температуре 250°C). Такая тренировка может быть эквивалентна эксплуатации изделия в течение года при нормальной температуре.

Компоненты, выдержавшие тренировку, будут иметь более низкую частоту отказов, что значительно повышает надёжность РЭА, в которой они используются. Разумеется, тренировка ЭКБ даёт положительные результа-

ты только в том случае, когда до и после неё проводится контроль электрических параметров.

Под тренировкой будем понимать все виды электротренировки, электротермотренировки и термотренировки. Каждый из перечисленных видов тренировки имеет свои достоинства и недостатки, поэтому необходим выбор вида тренировки и её режима для конкретного типа ЭКБ. Прежде всего, необходимо добиться, чтобы при проведении тренировки ЭКБ по выбранной методике выявлялось не менее 95% потенциально ненадёжных изделий. Данная величина достоверности результатов тренировки считается нормальной и зафиксирована военным стандартом США MIL-STD-883.

При выборе конкретных режимов и методик тренировки необходимо учитывать многие факторы, в т.ч. с время и стоимость тренировки. Оптимальный режим тренировки позволяет отбраковать потенциально ненадёжные компоненты и при этом не вызывать появления новых дефектов, снижающих надёжность компонентов.

Тренировка электронных блоков проводится, как правило, для того, чтобы выявить дефекты пайки, монтажа, а также компоненты, надёжность которых была резко снижена в процессе изготовления блоков (например, перегрев изделий, воздействие случайных импульсов напряжений, токов, статического электричества и т.п.).

Анализ и подход к выбору конкретного вида тренировки и её режимов, имитирующих влияние внешних воздействующих факторов, рассматриваются в данной статье на основе опыта, накопленного в процессе международного сотрудничества, и изучения зарубежной литературы. ФГУП «РНИИ КП» является головной научно-исследовательской организацией ракетно-космической промышленности по применению ЭКБ и по координации работ Федеральной космической программы для обеспечения высоконадёжной радиационно-стойкой ЭКБ.

Обычные потоки испытаний, многократно выполняемые фирмой IGG (Великобритания), – это путь изменения доверия к ЭКБ, пройденный для дискретных полупроводниковых приборов от уровня JANTXV (отбраковка для военного применения плюс

отбраковка перед капсулированием) до уровня JANS (отбраковка для космического применения по требованиям MIL-PRF-19500 Screening Requirements), а для интегральных схем – от MIL-STD-883 B (требования военного стандарта США) до уровня В ESA/SCC (требования координационного совета по уровням качества ЭКБ космического применения Европейского космического агентства).

Коммерческие компоненты должны соответствовать уровням отбраковки приборов для военного применения по европейским стандартам (ERMIL). Процесс проведения испытаний включает в себя контроль комплекса электрических параметров до и после термотренировки с фиксацией изменений всех электрических характеристик ЭКБ. При этом вместо 5% брака при дополнительных испытаниях допускается 1% брака.

Более жёсткий отбор требуется для выбора пассивных и активных компонентов.

Программа вышеописанных испытаний записывается следующим образом:

JANTXV	⇒	JANS
COMMERCIAL	⇒	ERMIL
883 B	⇒	SCC LEVEL B
5% погрешность	⇒	1% погрешность

Дополнительные оценочные испытания – это поток дополнительных испытаний и экспертиз, выполняемых с целью заново охарактеризовать работу компонентов вне рамок предварительных специальных максимальных оценок.

Они, как правило, применяются для компонентов военного назначения и не используются для ЭКБ, предназначенной для космоса. Дополнительные оценочные испытания могут приводить к электрическим или механическим перегрузкам ЭКБ, поэтому они проводятся вне безопасной рабочей области, установленной изготовителем, и без соблюдения ограничений проекта и материалов. Они не могут квалифицировать будущие партии, а на текущие партии отсутствует гарантия изготовителя. Низкий уровень доверия к ним объясняется тем, что потенциальные механизмы отказа могут быть выявлены по итогам испытаний, в течение которых на характеристики и работу ЭКБ можно воздействовать.

Дополнительная оценка эффективности в тех случаях, когда она выполняется в сотрудничестве с изготовителями компонентов. Тогда появляется возможность оценки и контроля качественных показателей в процессе производственных процессов, чем и достигается качество и надёжность компонентов.

Использование отбраковки рекомендуется в космических программах, военных приложениях, жёстких условиях окружающей среды и при коротком жизненном цикле (пусковые установки). В рамках космических программ отбраковка используется в следующих случаях:

- отказ партии высоконадёжных компонентов во всех программах;
- большое количество технических проблем;
- ограничения стоимости проекта;
- планирование большого количества космических программ на длительный период;
- предупреждение ненадёжности ЭКБ по ужесточённым военным требованиям;
- жёсткие условия окружающей среды (работа ЭКБ в агрессивных условиях, разрушающее воздействие полей и др.);
- короткий жизненный цикл (с целью проверки работоспособности в условиях короткого жизненного цикла).

Ограничения на проведение отбраковки возможны, если отбраковка не способствует повышению надёжности компонента и не обеспечивает получение основных данных, а проводится с целью только типовых проверок внутренней конструкции.

Проведение дополнительных отборочных испытаний не способствует повышению качества или надёжности компонента, но позволяет устранять некачественные компоненты и возможные отказы. Дополнительные отборочные испытания позволяют сертифицировать только одну партию, но не означают квалификации будущих партий. При наличии теоретической предпосылки к выявлению потенциальных или известных механизмов отказа достоверность проведения дополнительных отборочных испытаний возрастает на порядок.

Партия, в которой число отказавших в результате испытаний PDA (Physical Destructive Analyses – разрушающий физический анализ) ком-

понентов превышает допустимый процент отказов, должна быть отклонена и считается неподходящей для использования. Совместно с PDA для устранения потенциально ненадёжных партий дополнительные отборочные испытания часто включают приёмочные испытания партий LAT (Lot Acceptance Testing).

Проведение дополнительных отборочных испытаний, в которые включены PDA и испытания LAT, совместно с типовыми испытаниями, выполняемыми перед отбором, позволяют идентифицировать полностью неподходящие типы компонентов. Проведение испытаний LAT после PDA для определённой выборки из партии является основным средством, подтверждающим результаты, полученные при неразрушающих испытаниях.

Отбраковка проводится с целью получения одобрения и обоснования для использования компонентов низкого уровня качества, например, в следующих случаях:

- обоснование для программы обеспечения качества;
- использование нестандартных компонентов;
- использование нестандартных корпусов;
- экономия стоимости.

Дополнительные отборочные испытания могут быть проведены для того, чтобы получить дополнительную информацию о качестве компонентов, необходимую для одобрения в космической программе. Например, дополнительные испытания можно проводить для использования компонентов JANTXV при применении JANS. Нестандартные компоненты могут быть подвергнуты отбраковке и приняты к использованию, но такое решение распространяется только на конкретную партию проверенных компонентов для конкретного применения. Компоненты с нестандартными корпусами, например, при пластмассовой герметизации, могут быть приняты с соответствующим положительным результатом отбраковки.

Проведение дополнительных отборочных испытаний позволяет в дальнейшем применять более дешёвые компоненты. Этот подход использовался в некоторых коммерческих проектах.

Отбраковка проводится для решения следующих задач:

- определение соответствия изделия требованиям проекта и планам производства;
- реализация заложенных в ТЗ требований надёжности для малых партий;
- своевременная и запланированная поставка;
- достижение проектных требований надёжности для малых партий;
- резервирование с целью нормального процесса приобретения.

В результате время от получения заказа до поставки традиционно используемых сверхвысоконадёжных компонентов может быть сокращено.

Системы ESA/SCC используются для определения 15-летнего ресурса ЭКБ и включают в себя проведение следующих мероприятий:

- отборочные испытания по ESA/SCC (уровень В);
- прогон 15 компонентов в течение 1000 ч;
- принятие партии – при нуле отказов, отклонение партии – при одном отказе;
- уменьшение областей применения отобранных компонентов.

Отбраковка позволяет собрать данные, на основании которых будет принято решение о резервировании ЭКБ. Такие ЭКБ необходимы в случае выявления отказа в какой-либо текущей партии или при других проблемах, связанных с приобретением компонентов. Стабильность результатов испытаний и контролируемых параметров предопределяется термотренировкой на ресурсных испытаниях с контролем дрейфа параметров и вычислением дельты.

Проводится регистрация параметров и результатов испытаний. Отказы могут составлять до 3%. В основном это окисные дефекты, дефекты ме-

таллизации и проблемы сварки. При термоциклировании выявляются проблемы с внутренними водяными парами. Стандарт MIL уровня S требует вычисления разницы ключевых параметров для гарантии стабильности, подтверждения надёжности, выбора испытания и подтверждения пригодности ЭКБ промышленного уровня качества к эксплуатации в военной аппаратуре.

Запись и чтение результатов осуществляется в соответствии с требованиями ESA/SCC уровня В и MIL уровня S и обеспечивает письменное подтверждение пределов сертификации. Они используются для изучения поведения параметров в зависимости от времени и для выбора компонентов испытательной партии для специальных приложений, требующих контроля параметров. Устранение потенциальных отказов – это идентификация и устранение всей ненадёжной ЭКБ из партии, всех ненадёжных партий и неподходящих типов компонентов.

Выводы

Анализ опыта IGG и обобщение результатов испытаний изделий 883В за последние 15 лет позволяют сделать следующие общие выводы:

- большинство партий прошли испытания успешно;
- небольшое количество (~5%) потерпело неудачу даже при том, что изделие 883В было подвергнуто 100%-контролю изготовителем перед герметизацией;
- небольшое количество партий потерпело неудачу при PDA и ресурсных испытаниях, с серьезными проблемами качества.


Выбор методики испытания является типовым исходя из целей испытания

(например, измерения 100% партии резисторов с допуском $\pm 5\%$, чтобы выбрать из них резисторы с допуском $\pm 1\%$, или температурные измерения, чтобы выбрать компоненты с лучшими температурными коэффициентами).

Выбор контролируемого параметра определяется областью использования ЭКБ и задачей, решаемой данным компонентом (например, выбор компонентов с самыми низкими шумовыми фигурами или с самым высоким усилением).

Когда диапазон результатов сертификационных испытаний не включает всех желаемых значений, проводится расширение диапазона квалифицированных значений. Примером может служить отбор большего диапазона танталовых конденсаторов, не охваченных требованиями ESA/SCC, но представленных в перечне аттестованных изделий QPL (Qualified Parts List).

ЛИТЕРАТУРА

1. Урличич Ю.М., Данилин Н.С. Проблемы качества и долговечности современного космического приборостроения. М.: МАКС Пресс, 2003.
2. Урличич Ю.М., Данилин Н.С. Управление качеством космической радиоэлектронной аппаратуры в условиях глобальной открытой экономики. М.: МАКС Пресс, 2003.
3. Урличич Ю.М., Данилин Н.С., Белослудцев С.А. Многоплановые инженерно-физические исследования электронной компонентной базы для космоса. М.: МАКС Пресс, 2005.
4. Данилин Н.С., Белослудцев С.А. Отбраковка современной космической электронной компонентной базы. М.: МАКС Пресс, 2006.
5. Данилин Н.С., Белослудцев С.А. Доклад на научно-технической конференции «Электронная база новых космических систем». Адлер, сентябрь 2006. 

Новости мира News of the World Новости мира

Фирма Agilent Technologies приобрела две новые компании

Фирма Agilent Technologies объявила, что подписан договор о приобретении двух новых компаний – Acqiris (разработчика и производителя высокопроизводительных скоростных устройств аналого-цифрового преобразования данных в форматах CompactPCI, PCI и PXI) и PXIT Inc. (производителя недорогих измерительных решений для производителей широкополосных оптических приёмопередатчиков).

Acqiris – частная компания, специализирующаяся на изготовлении высокоскоростных оцифровщиков и анализаторов сигналов, использующихся в электронике, а также временно-цифровых преобразователей. Эта швейцарская компания, основанная в 1998 г., также осуществила несколько важных прорывов в области сбора данных и владеет рядом уникальных технологий. Среди производимых ей продуктов – оцифровщики стандартов CompactPCI, PCI, PXI, VXI, VME и OEM, аналогово-цифровые преобразователи и анализаторы сигналов, ис-

пользующиеся для тестирования жёстких дисков, в полупроводниковой индустрии, радаров, оборудовании автоматизированного тестирования, физике и астрономии.

Компания PXIT находится в Лексингтоне, штат Массачусетс, и была образована после слияния компании Tsunami Photonics с PX Instrument Technology и сравнительно недавно – с FiberGrade Inc.

Финансовые подробности сделок не разглашаются. Все сотрудники Acqiris и PXIT приняты на работу в Agilent.

www.agilent.ru