

СИСТЕМА ИСПЫТАНИЙ – ОСНОВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ РЭА

Надежности радиоэлектронной аппаратуры образцов вооружения и военной техники (ВВТ) в условиях воздействия внешних факторов сегодня уделяется первостепенное внимание. Это объясняется тем, что современные ВВТ, их боевые и технические характеристики во многом определяются параметрами РЭА, являющейся их неотъемлемой и важнейшей составной частью. В обеспечении надежности РЭА одно из первых мест занимает проведение достоверных испытаний.

Испытания – одна из наиболее трудоемких и дорогостоящих процедур программ обеспечения надежности РЭА систем ВВТ. В комплекс государственных военных стандартов "Мороз-6" (введен в действие с 01.01.99 г.) включены пять категорий контрольных испытаний (предварительные и государственные – для опытных образцов; периодические, приемосдаточные и типовые – для серийной продукции) и несколько десятков видов испытаний, в том числе 23 – на устойчивость к воздействию климатических и 18 – механических факторов, а также испытания на надежность – безотказность, долговечность и сохраняемость, испытания на устойчивость к биологическим и специальным средам, к воздействию ионизирующих и электромагнитных излучений и испытания на безопасность. При этом для обеспечения требуемого уровня надежности режимы достоверных испытаний должны быть, с одной стороны, адекватны эксплуатационным, а с другой – за сравнительно короткое время подтверждать возможность выполнения заданных требований в течение всего установленного срока эксплуатации. Однако нет необходимости доказывать, что затраты на проведение полноценных и достоверных испытаний окупаются за счет снижения числа отказов РЭА в эксплуатации, которые приводят, в лучшем случае, к незапланированным затратам на их устранение (в сотни раз превышающим стоимость испытаний), а в худшем – к срыву выполнения боевой задачи образцом ВВТ.

Эффективность системы испытаний на надежность и устойчивость РЭА определяется двумя основными ее составляющими – нормативно-методическим и техническим обеспечением [1].

НОРМАТИВНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ

Оценку современного состояния нормативно-методического обеспечения системы испытаний на надежность и устойчивость к воздействию внешних факторов можно провести на основе анализа перспективных требований к испытаниям и методов испытаний РЭА на воздействие климатических и механических факторов, регламентированных комплексом государственных военных стандартов (КС) "Мороз-6". Учитывая широкое применение комплекса стандартов "Мороз", остановимся на основных отличиях нового КС – "Мо-

В.Писарев, М.Критенко,
В.Постнов

роз-6" от разработанного ранее (действующего с 1976 года) КС – "Мороз-5".

КС "Мороз-6" выдвинул новые требования к проведению контрольных испытаний, в частности на комплексное воздействие внешних факторов (температуры, влажности, вибрации), на воздействие широкополосной случайной вибрации, на прочность при воздействии акустического шума, а также повышенные требования к точности задания и поддержания режимов воздействия температуры, вибрации и др. [2].

Контрольным испытаниям, и в первую очередь предварительным, подвергаются опытные образцы после их изготовления и при успешных результатах исследовательских испытаний. Предварительные испытания организует и проводит предприятие-разработчик (предприятие-изготовитель) под контролем и при обязательном участии военного представительства Минобороны России на этом предприятии. Цель испытаний – предварительная оценка боевых, технических и эксплуатационных характеристик образцов и установление их соответствия требованиям тактико-технического задания (ТТЗ), а также определение готовности образца к государственным испытаниям.

Предварительные и межведомственные испытания составных частей опытных образцов, разрабатываемых по ТТЗ головного разработчика, проводит разработчик составной части при участии головного разработчика и представителя заказчика.

В новом КС "Мороз-6" уделено повышенное внимание проведению исследовательских и отбраковочных испытаний. Исследовательские испытания, к которым относятся отработочные, доводочные, граничные, провоцирующие и другие, как правило, проводятся на стадии проектирования, при испытании макетов или составных частей и опытных образцов. Эти виды испытаний направлены на выявление "слабых" элементов и узлов, в ходе их отработки конструкция РЭА, уточняются режимы контрольных и приемосдаточных испытаний.

Исследовательские испытания необходимы при отработке нового, особенно впервые разрабатываемого изделия, и проводятся Главным конструктором. По времени они не регламентированы и проходят, как правило, до тех пор, пока Главный конструктор не убедится в том, что выбранные им принципы проектирования и схемные решения позволят разработать изделие с параметрами, удовлетворяющими требованиям ТТЗ. Он же определяет объемы и режимы этих испытаний. Кроме того, исследовательские испытания проводятся также в случае значительной корректировки рабочей конструкторской документации и доработки опытных образцов по результатам государственных испытаний. Руководят испытаниями, соответственно, службы Главного конструктора по утвержденным им программам и методикам.

Важнейшее отличие исследовательских испытаний от контрольных заключается в следующем.



- Уровни воздействия внешних факторов с целью определения коэффициента запаса прочности в процессе исследовательских испытаний могут быть выше уровней, встречающихся в эксплуатации. Так, например, климатические камеры для ускоренных и сверхускоренных испытаний изделий микроэлектроники на долговечность и безотказность должны обеспечивать воздействие повышенной влажности – до 98%, повышенной температуры – до 125–150°C и повышенного атмосферного давления – до $(4-5) \cdot 10^5$ Па. В целях сокращения длительности испытаний и повышения их достоверности точность задания и поддержания температуры целесообразно повышать до 0,5–1,0°C, а влажности до 2–3%.
- Длительность проведения исследовательских испытаний, как правило, заранее неизвестна, так как они начинаются по мере необходимости определения того или иного функционального параметра РЭА в условиях воздействия внешних факторов и завершаются только после того, как будет достигнут желаемый результат. Поэтому планировать загрузку испытательного оборудования затруднительно, что приводит к росту потребности в средствах испытаний.
- При исследовательских испытаниях, как правило, проверяется большее, чем при контрольных, число параметров РЭА и с большей точностью, что предъявляет повышенные требования к системам измерения, регистрации, а также к испытательному оборудованию.
- Перечень контролируемых параметров при исследовательских испытаниях устанавливается априори и уточняется в процессе испытаний, в то время как этот перечень в процессе контрольных

ных и отбраковочных испытаний заранее известен и установлен в нормативном документе, что упрощает автоматизацию испытаний и поверочных работ.

- Исследовательским испытаниям, как правило, подвергаются макеты, узлы, блоки и шкафы сравнительно небольших массы и габаритов, в отличие от устройств и комплексов, проходящих контрольные испытания.

Отбраковочные испытания РЭА различных уровней разукрупнения – от платы до комплекса – предусматривают, как правило, меньшую гамму внешних воздействий (циклически изменяющаяся температура и широкополосная случайная вибрация) и, главное, значительно заниженные нормы испытаний. Эти испытания – составная часть технологического процесса изготовления аппаратуры, в ходе которого она и ее элементы подвергаются воздействию различных внешних факторов для выявления и устранения скрытых дефектов производства.

В соответствии с действующими КС "Мороз-6", а также ГОСТ В 15.210 и ГОСТ В 15.307, серийные образцы ВВТ подвергаются квалификационным, приемосдаточным, периодическим и типовым испытаниям.

На рис.1 приведено распределение доли отказов РЭА при испытаниях (а) и эксплуатации (б), обусловленных воздействием различных внешних факторов.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ

Нормативно-методическое обеспечение системы испытаний неразрывно связано со второй ее составляющей – техническим обеспе-

чением. Для оценки возможности внедрения новых методов испытаний был проведен анализ обеспеченности испытательных баз предприятий оборонного комплекса техническими средствами испытаний (ТСИ) с целью проверки их соответствия современным требованиям отечественных стандартов КС "Мороз-6" и "Климат-7". Анализ проводился на основе данных, полученных 22 ЦНИИИ Минобороны России при проведении аттестации испытательных подразделений в 1993–2002 годах. За этот период было аттестовано свыше 120 предприятий различных форм собственности, относящихся к различным отраслям промышленности, что дает право утверждать достоверность результатов анализа [3]. Анализ показал:

- из-за сокращения объемов оборонного заказа существенно снизились объемы испытаний, и, как следствие, на предприятиях уменьшилась численность специалистов в области планирования, проведения и технического обеспечения испытаний, причем, в первую очередь, высококвалифицированных специалистов;
- средняя численность парка ТСИ на одном предприятии составляет 10–40 единиц, а средний численный состав испытательных подразделений – 15 человек. При этом по возрастным категориям они повсеместно распределяются следующим образом: до 30 лет – 10%, 30–50 лет – 35% и свыше 50 лет – 55%, т.е. в основном это сотрудники предпенсионного и пенсионного возраста;
- парк средств испытаний и метрологического обеспечения за последние 9–10 лет на предприятиях оборонного комплекса практически не обновлялся, многие технические средства находятся в нерабочем состоянии из-за отсутствия запасных деталей, а также из-за отсутствия персонала, способного ремонтировать и поверять эти средства;
- на ряде предприятий не используемые ТСИ списываются или в лучшем случае продаются с целью снижения налога на основные средства. В результате создаются предпосылки для необратимого процесса развала служб испытаний.

Перечисленные недостатки привели к обострению проблемы проведения испытаний РЭА на те виды внешних воздействий, которые не обеспечены соответствующим испытательным оборудованием, как правило уникальным (камеры бароудара и акустического шума, комплексные установки на воздействие широкополосной случайной вибрации и др.) [4].

Сложившееся на сегодняшний день распределение парка ТСИ на предприятиях оборонного комплекса по годам эксплуатации проиллюстрировано на рис.2. Необходимо отметить, что абсолютное большинство парка ТСИ составляют установки для испытаний на воздействие механических и климатических факторов. При этом

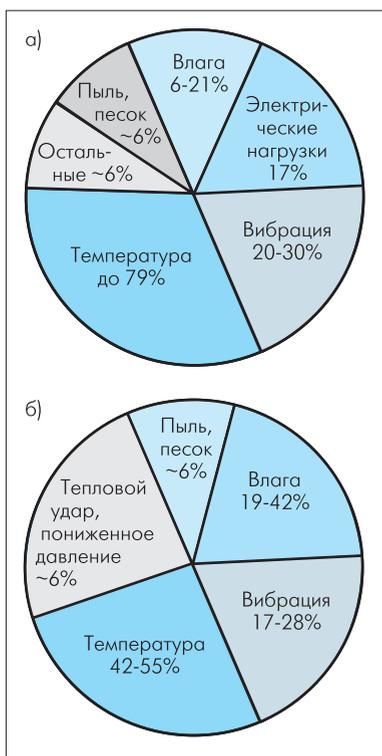


Рис.1. Распределение долей отказов РЭА по видам воздействующих внешних факторов: а) при испытаниях; б) при эксплуатации

среди ТСИ, предназначенных для испытаний на воздействие механических факторов, доля отечественных составляет 80%, а зарубежного производства – 20%. Среди климатических ТСИ наблюдается обратная тенденция: отечественные – 15%, а зарубежного производства – 85% (рис.3). Среди зарубежных средств испытаний абсолютное большинство составляют установки производства бывшей ГДР, ремонт и восстановление которых сегодня осуществляет фирма TIRA ACS (Германия).

Еще одной особенностью современного парка ТСИ предприятий оборонного комплекса является наличие, наряду со стандартными средствами испытаний (разработанными и изготовленными специализированными предприятиями), испытательных установок, разработанных и изготовленных в единичных экземплярах либо самими предприятиями, либо непрофильными предприятиями. Доля таких уникальных средств испытаний составляет около 8% от общего числа. Примером служат установки для испытаний на воздействие высокоинтенсивного одиночного удара (12000g и более), линейного ускорения с перегрузкой более 1000g, повышенной температуры (свыше 600°C), дождя, соляного тумана, а также комплексного воздействия внешних факторов. Из этих примеров видно, что оборудование единичного изготовления предназначено прежде всего для проведения интенсивных видов испытаний. Еще одна причина изготовления собственного испытательного оборудования – необходимость проведения испытаний крупногабаритных объектов. В основном это климатические камеры с рабочим объемом 100–250 м³.

Таким образом, техническое оснащение предприятий оборонного комплекса находится в неудовлетворительном состоянии и не соответствует современным требованиям. Так, для замены физической и морально устаревших ТСИ, доля которых составляет более 50%, даже с учетом снижения в последние годы объемов военных заказов предприятиям, сегодня требуется около 7000 единиц технических средств для климатических и механических испытаний. Возникновение этой проблемы прогнозировалось еще в начале 90-х годов. Попытка создания отечественной промышленностью ТСИ для обеспечения потребности предприятий оборонного и производственно-технических комплексов была отражена в 1992–1994 годах в рамках "Программы разработки комплекса технических средств испытаний радиоэлектронной аппаратуры для вооружения и военной техники на механические, климатические, комплексные и специальные воздействия". В Программе определена номенклатура ТСИ, основные технические требования к ним, сроки разработки и

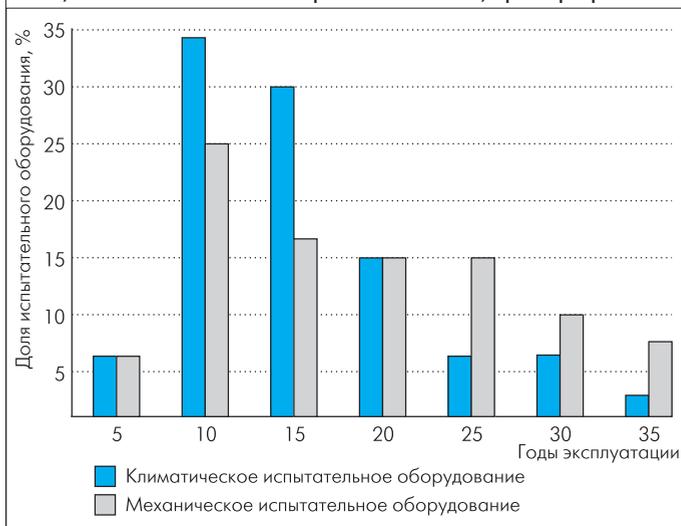


Рис.2. Распределение технических средств испытаний на предприятиях оборонного комплекса по продолжительности эксплуатации

освоения производства. Но из-за сокращения объемов финансирования Программа не была реализована.

Требования к ТСИ, указанные в Программе, основывались на научно обоснованных рекомендациях. В частности, было показано, что создаваемые ТСИ должны обладать высокими потребительскими свойствами, т.е. быть недорогими, простыми и удобными в эксплуатации, иметь высокую степень автоматизации управления, высокую безотказность, ремонтпригодность за счет обеспечения конструктивной, информационной, электрической и метрологической совместимости.

В целом по результатам анализа современного состояния системы испытаний как основы повышения надежности и устойчивости РЭА можно сделать следующие выводы.

- Современное нормативно-методическое обеспечение испытаний на надежность и устойчивость соответствует передовому отечественному и зарубежному опыту. Существует достаточно эффективная система требований и методов испытаний аппаратуры и электрорадиоизделий военного назначения, реализованная в виде стандартов КС "Мороз-6", "Климат-7" и нескольких десятков обеспечивающих документов второго уровня.* Перспективным направлением развития можно считать разработку расчетных методов оценки соответствия заданным требованиям отбраковочных испытаний.
- Техническое оснащение предприятий оборонного комплекса следует признать неудовлетворительным. Сложившаяся ситуация в значительной мере обусловлена недостаточным, а в последние годы практически полным прекращением целевого финансирования разработок и закупок ТСИ, недостаточным вниманием руководства предприятий и представителей заказчика на местах вопросам переоснащения испытательной базы, а также отсутствием отечественной машиностроительной базы разработки и производства ТСИ.
- Особую остроту приобретает проблема с кадровым обеспечением испытательных подразделений. На сегодня ситуация такова – при современном дефиците квалифицированных специалистов испытательные подразделения в ближайшие пять лет потеряют еще до 50% своего состава, причем наиболее опытных и подготовленных работников.

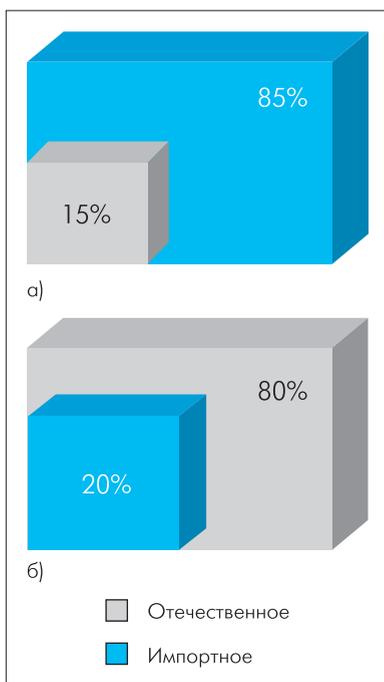


Рис.3. Распределение испытательного оборудования предприятий оборонного комплекса по источникам поступления: а) климатическое оборудование; б) механическое оборудование

ЛИТЕРАТУРА

1. Степанов Ю.И. Современная концепция обеспечения надежности и стойкости радиоэлектронных средств вооружения. – Технологическое оборудование и материалы, 1998, № 4.

2. ГОСТ РВ 20.39.304-98 КСОТТ. Аппаратура, приборы, устройства и оборудование военного назначения. Требования по стойкости к внешним воздействующим факторам. – Госстандарт России, 1998.

3. Писарев В.Н., Постнов В.Н., Степанов Ю.И. Аттестация лабораторно-испытательных баз – важнейший фактор обеспечения качества продукции. – Вестник Военного Регистра, 2001, № 8.

4. Научно-технический отчет о НИР "Разработка единого каталога отечественного и зарубежного контрольно-измерительного и испытательного оборудования для испытаний радиоэлектронной аппаратуры" (Шифр "Каталог ТСИ"): 22 ЦНИИИ МО РФ, 2000.

ЛУЧШИЕ КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ 2002

Ежегодно журнал Test & Measurement публикует сведения об изделиях, которые эксперты признают особенно инновационными и полезными.

Оптический тестер A3303 фирмы Graadiant Systems

Включает все необходимые оптические приборы: тестер вероятности появления ошибочных битов, аттенуаторы, измерители мощности, волоконно-оптический усилитель, оптический анализатор спектра, ответвители, разветвители, протокольные анализаторы, оптические фильтры и оптические источники. Работает при скорости передачи данных 2,5 Гбит/с. Проводимые тесты и их результаты индицируются на дисплее. Потребитель может реконфигурировать экран для установок критерия теста, меню множества тестов и представления результатов.

Логические анализаторы серии 1689 и 1690 фирмы Agilent Technologies

Эти приборы на основе ПК обладают наибольшей простотой в эксплуатации среди логических анализаторов средних возможностей. Основные пусковые сигналы имеют нарастающий и падающий фронты или один из них, а также высокий или низкий уровень. Усовершенствованные триггеры обеспечивают получение данных с помощью любой комбинации пусковых сигналов во множестве каналов. Можно очертить квадрат вокруг захваченного события и установить прибор на входжение в него – без настройки каждого канала отдельно. Число каналов – от 34 до 136, глубина памяти – до 4 мегавыборок на канал. Прибор выполняет анализ логических состояний до 200 МГц и временной анализ до 800 МГц.

Система контроля печатных узлов Optima 7350 фирмы Teradyne

Система позволяет проверять печатные узлы снизу без их перерождения. Проверяются соединители, двусторонние смонтированные печатные узлы, монтаж компонентов в сквозные отверстия до волновой пайки и после нее. Система способна обнаруживать целую гамму дефектов на нижней стороне платы – дефекты пайки, пропуск компонентов, неправильное их размещение. Благодаря освещению нижней стороны платы множеством СИД можно получать 10 изображений с различных позиций.

Генератор колебаний произвольной формы DBS2055 фирмы Analogic

Создает колебания вплоть до 4,8 ГГц. Для достижения такой частоты используются два модуля DBS2050A (2,4 ГГц) и сумматор, удваивающий частоту. Прибор способен работать с одним каналом при 4,8 и с двумя – при 2,4 ГГц с одновременным запуском. ЗУ генератора может хранить до 8 мегавыборок с 4096 уникальными формами колебаний. Напряжение размаха генерируемых сигналов – до 4 В.

Анализатор сигналов SIA-3000 фирмы Wavecrest

Позволяет наблюдать и анализировать одновременно десять сигналов связи. Сочетает в себе свойства осциллографа, тестера вероятности появления ошибочных битов, анализатора временных интервалов, спектроанализатора и анализатора фликкер-шума. Может использоваться как автономный тестер для проведения лабораторных исследований и как составная часть интегрированной автоматизированной контрольно-измерительной системы. Анализирует последовательный поток данных с 4,5 Гбит/с. Средства прикладного ПО для коммуникационных стандартов Gigabit Ethernet, SONET, LAN и Infiniband позволяют определять частотные, временные и шумовые характеристики сигналов.

Зондовая система реального времени Suss MF фирмы MFI Technologies

Субмикронные зонды системы сканируют поверхность образца с разрешением 50 нм, а формирователь изображения индицирует ее. После сканирования наконечник зонда осуществляет электрический контакт с деталями поверхности. Сочетание формирователя изображения и измерительного наконечника позволяет системе производить измерения на поверхности чипа в реальном времени. Возможна модификация системы на четыре зонда.

www.tmworld.com/bit/2002.htm

*ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2000, №4, с.50–53.