

МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ РЭА

Надежность полупроводниковой элементной базы российского производства, применяемой в ВПК, соответствует своим табличным значениям (λ -характеристикам) при условии выполнения требований по защите от воздействия разрядов статического электричества в процессе производства и действенной системы учета и анализа отказов, позволяющей в кратчайшие сроки устранять конструктивные дефекты в РЭА. Это обеспечивает значительное снижение затрат на восстановление собственной продукции в процессе производства (себестоимость продукции иногда снижается в разы).

Система качества выпускаемой продукции обеспечивается комплексным решением задач создания, поддержания и повышения качества при оптимальных затратах на ее разработку и производство. В теории и практике обеспечения качества и надежности одновременно развиваются два направления:

- физическое – основанное на изучении надежности и изучении процессов, протекающих в изделиях, а так же на контроле и анализе электрофизических параметров;
- статистическое – обобщение и анализ большого объема экспериментального материала.

К сожалению, несмотря на принимаемые меры по восстановлению системной работы в области обеспечения качества и надежности электрорадиоизделий (ЭРИ), сохраняется устойчивая тенденция по снижению этих основных характеристик. По-прежнему среди основных причин выхода из строя радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) отказы ЭРИ составляют основную долю (более 60 %) от всех отказов.

Предполагалось, что при отказе от формального внедрения систем качества на предприятиях-производителях РЭА произойдет повышение качества выпускаемой продукции [1]. Но этого не случилось. Несмотря на внедрение даже более совершенной версии стандартов серии ИСО 9000 2000 года, переход к процессному подходу в сертификации систем качества не принес желаемых результатов.

Например, "статистические данные", полученные на предприятиях-потребителях ЭРИ в атомной промышленности, свидетельствуют о "недостаточном уровне надежности эле-

ментной базы" – только на входном контроле количество забракованных по электрическим параметрам электрорадиоизделий возросло в 2–5 раз [2].

В 2000 году для обеспечения качества, надежности и конкурентоспособности продукции приборостроительных предприятий, в отношении которых Управление программ бортового оборудования и авионики Агенства "Росавиакосмос" проводило государственную политику в области авиаприборостроения, были приняты дополнительные требования к системе менеджмента качества (СМК) предприятий приборостроения, а именно:

- наличие процедур оценки стабильности процесса производства, позволяющих оперативно реагировать на изменение качества комплектующих, отклонения от установленных технологий и т.д.;
- соблюдение прав главного конструктора изделий при их серийном выпуске на заводах-изготовителях;
- наличие эффективно действующей системы анализа и учета отказов;
- наличие эффективной системы защиты полупроводниковых структур от воздействия разрядов статического электричества.

По заказу предприятий была проведена оценка и разработка мероприятий по повышению качества технологических процессов изготовления РЭА, систем анализа и учета отказов приборостроительной и агрегатной продукции, адаптированных к конкретному производству, методов контроля качества выпускаемой продукции. Данные по трем предприятиям приведены в табл.1.

В качестве критерия был выбран коэффициент отказов $K_{отк}$, представляющий собой соотношение числа элементов, снятых в процессе производства (а также в процессе эксплуатации), к числу установленных в аппаратуру.

При работе по повышению надежности снижение отказов на этапе 1 происходит в основном благодаря эффективным мерам по защите от воздействия разрядов статического электричества. На этапе 2 отказы удается снизить за счет разработки и внедрения механизма их анализа с использованием модели причинно-следственной связи.

А.Клиот, М.Критенко
kliot@mail.ru

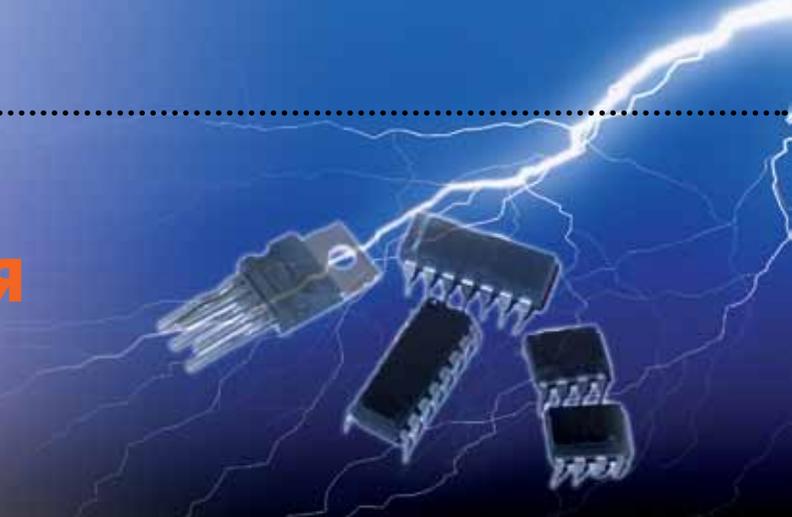


Таблица 1. Результаты, полученные по трем предприятиям

Предприятие	Период работы	Результаты работы	
		в процессе производства	в эксплуатации
ОАО "Элара" (Чебоксары)	2001–2002 г. Этап 1	Снижение $K_{отк}$ от 0,3 до 0,017%	Отсутствие отказов, обусловленных ВРСЭ
	2002–2003 г. Этап 2	Снижение $K_{отк}$ от 0,17 до 0,008%	*Устранение конструктивных дефектов
ОАО "Аэроприбор "Восход" (Москва)	2001–2002 г. Этап 1	Снижение $K_{отк}$ от 8,0 до 0,4%	Отсутствие отказов, обусловленных ВРСЭ
	2002–2003 г. Этап 2	Снижение $K_{отк}$ от 0,4 до 0,02%	**Устранение конструктивных дефектов
ОАО "УКБП", завод "Утес" (Ульяновск)	2001–2002 г. Этап 1	Снижение $K_{отк}$ от 0,8 до 0,04 %	Отсутствие отказов, обусловленных ВРСЭ
	2002 г. Этап 2	Снижение $K_{отк}$ от 0,04 до 0,01%	**Устранение конструктивных дефектов

* Отказы ЭРИ в пределах λ -характеристик. ** Нарушения условий применения ЭРИ.

Процесс разработки и внедрения мероприятий этапов 1 и 2 в зависимости от номенклатуры и производственной мощности предприятия составляет от 9 до 12–14 месяцев. Собственно процесс состоит из двух частей:

- разработка мероприятий по исключению воздействия разрядов статического электричества (ВРСЭ) на полупроводниковые ЭРИ и разработка соответствующей нормативной документации;
- создание организационной структуры, реализующей необходимые процессы верификации в период разработки, изготовления и проведения предварительных испытаний.

В результате проводимых работ на предприятиях фактически ликвидируется так называемое "скрытое производство". В данном случае под скрытым производством понимаются неучтенные или скрытые финансовые, материальные и другие ресурсы, которые предприятие вынуждено направлять на восстановление собственной несоответствующей требованиям и качеству продукции в процессе производства и отозванной из эксплуатации. Как писал Дж. Кампанелла: "Реальная опасность заключается в том, что мы зачастую можем выявить и оценить лишь малую часть указанных затрат и издержек, ошибочно полагая, что определили все возможные их составляющие. В промышленности трудятся люди, не лишённые воображения, и ими придумано немало способов сокрытия этих издержек" [2].

Анализ статистических данных показывает, что заводы-изготовители ЭРИ признают своим браком в 50–100 раз меньше элементов, чем реально отказывают в эксплуатации. Процентное соотношение числа дефектных ЭРИ, снятых в процессе производства и эксплуатации, и число ЭРИ, признанных заводами-изготовителями браком, приведено на рисунке (линии предприятий А и Б).

Причиной такого расхождения является:

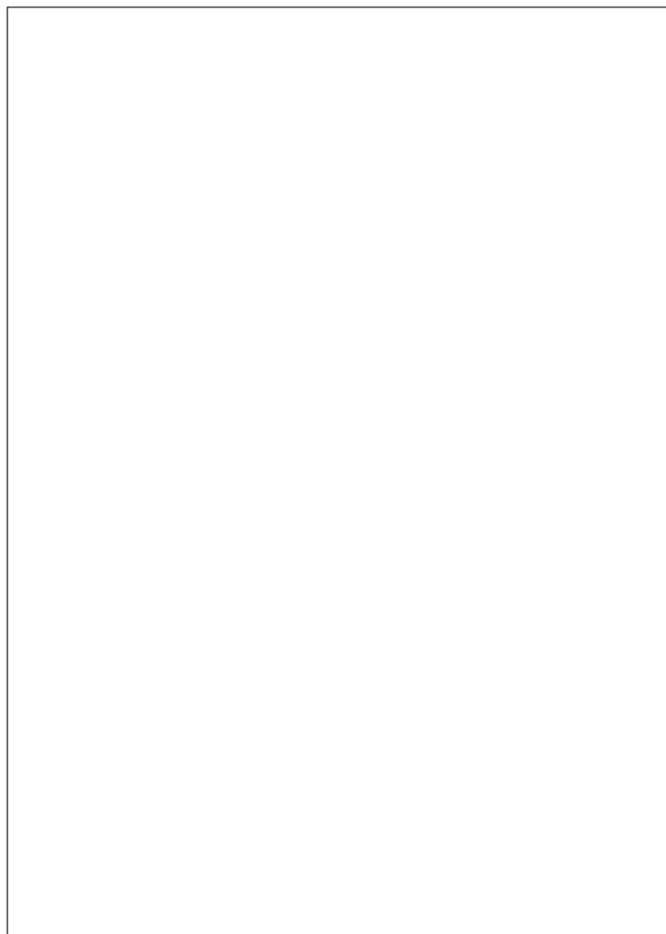
- отсутствие строгого учета демонтированных в процессе производства ЭРИ;

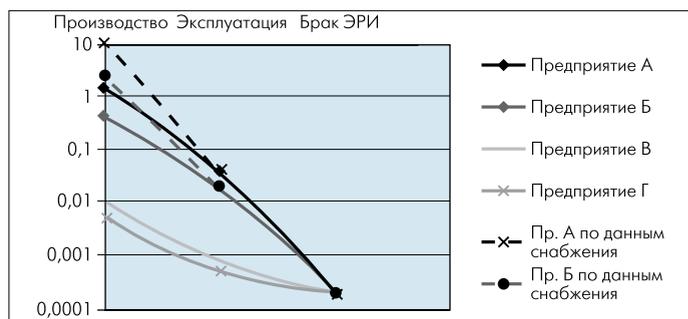
- непринятие на большинстве приборостроительных предприятий должных мер по защите чувствительных изделий (ППП, ИМС) от ВРСЭ в процессе производства и "отсутствие контура постоянного улучшения качества", включающего процессы верификации на этапе разработки и изготовления РЭА.

На рисунке (линии предприятий В и Г) приведено соотношение бракованных ЭРИ, признанных предприятиями-изготовителями собственным браком, и отказов ЭРИ в РЭА на предприятиях, где внедрены контур постоянного улучшения качества и меры по защите от ВРСЭ и где ведется строгий учет демонтированных ЭРИ.

Из опыта известно, что при наличии мер защиты от ВРСЭ процентное отношение ЭРИ, отказавших в процессе производства, к количеству ЭРИ, отказавших в процессе эксплуатации, равно отношению 8–10 к 1, а отношение ЭРИ, признаваемое производителем своим браком, к количеству ЭРИ, отказавшим в процессе эксплуатации РЭА, составляет 1/3–1/4.

В случае отсутствия на предприятии мер по защите от ВРСЭ и контура постоянного улучшения качества эти соотношения соответственно составляют примерно 85–100 к 1 в производстве и 85–100 к 1 в эксплуатации (например, пунктирные линии предприятий А и Б свидетельствуют об отсутствии строгого учета ЭРИ, демонтированных в производстве, число демони-





Процентное соотношение отказов ЭРИ в процессе эксплуатации и производства и ЭРИ, признанных заводами-изготовителями своим браком

- исследование отказов и выявление причин отказов ЭРИ и РЭА в процессе изготовления и эксплуатации РЭА.

Организационно контур постоянного улучшения качества представляет собой внутреннюю консалтинговую службу предприятия. Возглавлять работу по исследованию отказов всегда должен собственник процесса, т.е. начальник отдела разработки в институтах и КБ, а на заводах – представитель держателя подлинника КД. Протоколы исследования должны утверждаться распорядителем кредита (первым лицом) или тем, кому делегировано право подписи и выделение необходимых ресурсов.

рованных ЭРИ получено опросом служб снабжения по выданным в производство ЭРИ).

Введение мер защиты от ВРСЭ на предприятиях-изготовителях аппаратуры позволяет снизить количество отказов полупроводниковых ЭРИ в 20–70 раз. Отсутствие требуемых мер по защите от ВРСЭ на приборостроительных предприятиях обусловлено тем, что в основе работ по защите от ВРСЭ лежат требования ОСТ БКО 011.067.072, который не учитывает всей специфики приборостроения. Например, в стандартах изготовителей полупроводниковых ЭРИ в эквивалентной схеме разряда принято сопротивление 1 кОм, а в приборостроении при таком разряде в эквивалентной схеме должно быть сопротивление ≤1 Ом.

Поэтому в приборостроении защитой от ВРСЭ является снижение тока разряда статического электричества через полупроводниковые структуры за счет выбора сопротивления перезаряда, что позволяет увеличить время разряда и соответственно снизить ток перезаряда (а не уровня накопленного потенциала, как принято у изготовителей полупроводниковых ЭРИ). Предлагаемые методики предполагают также обучение части персонала, который участвует в верификации продукции, приемам распознавания пробоев полупроводниковых структур из-за ВРСЭ, импульсов перенапряжений или механических напряжений, воздействующих на кристалл через корпус ИМС.

Контур постоянного улучшения качества имеет в своей основе требования ГОСТ ИСО 9001-2001, ГОСТ РВ 15.002-2003 и рекомендаций ГОСТ ИСО 9004-2001. При его реализации должны выполняться следующие функции верификации в процессе разработки:

- контроль карт рабочих режимов в части электрических и тепловых режимов перед выдачей технического задания на конструирование;

При реализации одного из восьми принципов, положенных в основу стандартов ИСО серии 9000-2000, – принципа непрерывного совершенствования различных аспектов деятельности предприятия система экономики качества призвана стать основной информационной опорой.

Анализ отклонений фактических экономических показателей от бюджетных позволяет искать объекты совершенствования и определять первоочередность действий по непрерывному совершенствованию на базе информации о затратах.

Это возможно лишь при корректном выборе тех или иных нормативных затрат, служащих основой составления бюджета [4].

Известно, что доля официально зарегистрированных отказов ПКИ в эксплуатации обычно составляет 1/5–1/7 от общего числа отказов. Поэтому при оценке финансовых затрат на восстановление собственной несоответствующей требованиям продукции предприятий-изготовителей РЭА, фактические затраты, которые можно рассчитать по известным методикам, необходимо увеличить в 5–7 раз. Исходя из этого непроизводительные затраты в процессе изготовления РЭА могут достигать нескольких миллиардов рублей в год.

Затраты на создание эффективно действующей системы мер защиты от ВРСЭ и системы анализа и учета отказов ничтожны по сравнению с затратами на "скрытое производство" у предприятий, чьи отказы РЭА в процессе производства соответствуют среднему уровню приборостроительного предприятия (табл.2).

Данные, приведенные в табл.2, рассчитаны при следующих условиях:

- структура, обеспечивающая функционирование контура постоянного улучшения, состоит из двух человек;
- средняя месячная зарплата на предприятии составляет 15 000 рублей;
- накладные расходы составляют 300 %.

Затраты предприятий, у которых уровень снятия ЭРИ составляет 0,0075–0,002% от числа установленных, примерно в 100 раз меньше затрат приборостроительного предприятия среднего уровня.

Практика внедрения систем по защите от ВРСЭ, а также учета и анализа отказов выявила трудности, а именно:

- на ряде предприятий документы СМК написаны в виде СТП или СТО, которые по мере согласования трансфор-

Таблица 2. Типовые затраты на контур постоянного улучшения качества

Количество ЭРИ в производстве в месяц, шт.	Потери за месяц, тыс. руб.	Потери за год, тыс. руб.	Затраты на контур постоянного улучшения надежности в год, тыс. руб.	
5000	470	2 350		500
10000	940	11 280		
50000	4 700	23 500		
100000	9 400	112 800		



мируются, и вместо методик выполнения отдельных работ появляются требования к выполнению работ, при этом необходимые методики исключаются;

- внедрение контура постоянного улучшения качества часто встречает противодействие со стороны руководства СМК, которое пытается само участвовать в исследовании, подменяя собой собственника процесса или взваливая эту функцию на производство;
- на предприятиях отсутствует система учета затрат на "скрытое производство", т.е. на восстановление собственной несоответствующей продукции в процессе изготовления и отозванной из эксплуатации.

Учет и анализ финансовых затрат, непосредственно связанных с качеством производимой продукции, нужны также для того, чтобы заставить высший менеджмент делать инвестиции в качество, т.е. необходимо перевести язык "представлений о менеджменте качества на язык денег" [5].

По всей вероятности, одним из путей сокращения непроизводственных затрат производства и повышения надежности РЭА для предприятий приборостроения является использование упомянутых методик и наработок. Внедрение мероприятий по защите от воздействия ВРСЭ и построение контура постоянного улучшения качества – это путь к достижению мирового уровня надежности и конкуренции на внутреннем и внешнем рынках.

Идеология "6 сигма" [6] (т. е. 2,4 отказа на миллион установленных ЭРИ в аппаратуре), рекламируемая сегодня как новая идея, в создании качественной продукции прошла уже проверку временем в формате контура постоянного улучшения надежности.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Клиот А.Е., Критенко М.И.** Сертификация и конкурентоспособность приборостроительных предприятий оборонного комплекса России и стран СНГ. – Международная конференция "Проблемы продвижения продукции и технологий на внешний рынок", 13–15 октября, Москва.
2. **Гетманец А.Н.** Обеспечение качества элементной базы с учетом требований атомной промышленности. – Петербургский журнал электроники, 2004, № 3–4.
3. **Кампанелла Дж.** Экономика качества. Основные принципы и их применение. – Стандарты и качество, 2005.
4. **Адлер Ю.П., Щепетова С.Е.** Качество: все выше, и выше, и выше... – Стандарты и качество, 2002, № 8.
5. **Шотмиллер Дж.** Затраты на качество стимулируют процессы непрерывного совершенствования. – Методы менеджмента качества, 2003, № 2.
6. **Хэрри М., Шредер Р.** 6 сигма. Концепция идеального менеджмента. – М.: ЭКСМО, 2003.