

**КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ПРОБЛЕМЕ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ  
БОРТОВОЙ РАДИОАППАРАТУРЫ**

*Рассмотрен новый подход к проблеме повышения надежности вновь разрабатываемого бортового радиоэлектронного оборудования на всех этапах жизненного цикла. Предложено использование "выравнивающей технологии" контроля.*

В Украине, к сожалению, продолжают кризисные процессы в экономике, в промышленности, в науке. Среди отраслей с наибольшим спадом производства особое место занимают приборостроение и радиоэлектроника.

По разным оценкам специалистов лишь 10 – 20 % продукции отечественного приборостроения может конкурировать на современном рынке гражданской техники. На ступень выше всегда была организация работ, уровень конструирования и состояние технологий в отраслях, производящих специальную технику. Однако в процессе конверсии и спада производства самый серьезный урон был нанесен в первую очередь данной отрасли. Это произошло вследствие значительного сокращения заказов, застоя в развитии конструирования и технологий, оттока квалифицированных кадров. Большая часть научно-исследовательских и технологических институтов, конструкторских бюро старается сегодня сохранить свои коллективы всеми возможными способами. Многие из них уже почти не занимаются основной тематикой, а живут за счет аренды и прежних "заделов". Поэтому, естественно, что в целом крайне мало внимания уделяется разработке новых изделий, поиску пионерских технических и технологических решений.

Аналогичная картина сложилась практически во всех постсоветских республиках, продукция которых, за редким исключением, не находит сбыта не только на мировом, но и на внутренних рынках. В значительной степени это обусловлено ее низким качеством и недостаточной надежностью.

На наш взгляд, сегодня нужен прорыв в одном или нескольких направлениях, значительный быстродостижимый положительный пример.

И одним из таких направлений должно стать авиастроение. Украина сумела сохранить приоритеты в этой отрасли, более того, она имеет отличные перспективы развития.

Сегодня, на наш взгляд, особое внимание необходимо уделять развитию именно бортового приборостроения, производства радиоэлектронных систем управления, навигации и связи. Причем эта аппаратура для сохранения экономической и политической безопасности в подавляющем большинстве должна быть отечественной. В связи с этим и возникают задачи разработки и изготовления качественных и высоконадежных приборов и систем.

Задача повышения качества продукции, по мнению ведущих специалистов передовых компаний мира, более важна, чем снижение издержек производства. Высококачественная продукция приносит примерно на 40 % больше прибыли, чем продукция низкого качества, а конкурентоспособность продукции может быть обеспечена только на основе повышения ее качества и надежности [1].

Проблема надежности является одной из наиболее острых и сложных в современной технике. В особенности это касается сложного приборостроения и радиоэлектроники и тем более бортовой аппаратуры. Действовавшие до недавнего времени методы и средства обеспечения и контроля надежности (в том числе регламентированные стандартами) исчерпали себя, так как на деле и прежде не обеспечивали требуемой безотказности аппаратуры в реальных условиях эксплуатации. В связи с этим в последнее время сформулированы и начали

реализовываться новые подходы, которые основаны на результатах исследований физики деградаций и отказов и на принципиально новой идеологии обеспечения надежности. Она включает в себя прежде всего принципиальные изменения требований к разработчикам и изготовителям аппаратуры, в основе которых лежит надежно-ориентированное управление процессами проектирования и производства.

Эта идеология предполагает тесное взаимодействие разработчиков и изготовителей компонентов с разработчиками и изготовителями аппаратуры по реализации максимальной надежности функционирования компонентов в составе аппаратуры, а также проведение испытаний функциональных узлов со смонтированными компонентами в условиях, учитывающих физику их отказов и соответствующих реальным или граничным условиям эксплуатации, в которых возникают отказы. Такими условиями являются высокотемпературная тренировка, термоциклирование, работа в жесточенных температурно-влажностных условиях, при вибрации, ударах, электромагнитных помехах и т.п.

Ключевым требованием при новом подходе является обеспечение "правильного" конструирования и "бездефектного" изготовления аппаратуры. Хотя все понимают, что в принципе этого достигнуть нельзя.

Сложность данной проблемы, в первую очередь, заключается в необходимости достоверного установления причинно-следственных связей в развитии физико-химических процессов деградаций и отказов в структурах, элементах, устройствах и системах. При этом должно учитываться все разнообразие особенностей проектирования, изготовления, хранения и эксплуатации как устройств и систем, так и отдельных элементов и материалов. Особое внимание необходимо уделять всему многообразию условий и факторов как объективных, так и субъективных, воздействующих на изделия на всех этапах их жизненного цикла, в частности, специфических факторов и их совокупного воздействия на аппаратуру в условиях эксплуатации.

Кроме того, решение проблемы находится на стыке многих наук: физики твердого тела, химии, физической химии, математики, материаловедения, схемотехники и системотехники, даже биологии. Специалисты такого спектра знаний могут сформироваться только в течение десятилетий практической исследовательской работы, и это тоже элемент, усложняющий решение проблемы.

Общепризнанным является то, что рост показателей качества и надежности отечественной продукции сдерживается низкой эффективностью так называемой подсистемы анализа отказов и плохо управляемой технологией, что приводит к высокой "засоренности" изделий скрытыми дефектами [2]. Однако даже при хорошо налаженной подсистеме анализа отказов обеспечить эффективное надежно-ориентированное управление технологией производства в реальном масштабе времени и в широких масштабах пока не удавалось. Основная причина этого – запаздывание результатов анализа. Преодолеть это противоречие можно использованием так называемой "выравнивающей технологии", которая устанавливает допустимое одностороннее отклонение процента выхода годных изделий на каждой технологической операции, а при выходе годных изделий меньше допустимого предусматривает ввод дополнительных отбраковочных испытаний, например, дополнительной тренировки [3].

Следует отметить, что идея использования отбраковочных испытаний как инструмента управления качеством весьма плодотворна и тренировочные прогоны в настоящее время являются неотъемлемым элементом технологии производства практически всех видов специальной аппаратуры. Цель тренировочных прогонов – стимуляция процессов деградации и отказов изделий со скрытыми дефектами или так называемое "выжигание" дефектов. Однако реальная эффективность тренировочных прогонов обычно бывает очень низкой, причиной чего является неоптимальность режимов и условий их проведения. Обычно это обусловлено тем, что они регламентированы нормативно-технической или технологической

документацией и редко корректируются из-за незнания физических механизмов деградации и отказов. Режимы и условия проведения тренировочных прогонов должны устанавливаться оперативно в зависимости от текущих значений параметров распределения видов и уровней дефектности с использованием огромного массива априорной информации о причинах и механизмах отказов, типовых недостатках и сбоях проектирования и изготовления, а также о характерных скрытых дефектах [4]. Значения этих параметров может дать только анализ брака и отказов в ходе каждой технологической операции.

Технологические тренировочные прогоны должны являться важнейшим элементом системы надежно-ориентированного управления процессом производства, так как они представляют собой, во-первых, наиболее управляемую технологическую операцию, во-вторых, это экономически наиболее эффективный метод выявления скрытых дефектов и, наконец, это практически заключительная операция процесса производства.

Другим видом отбраковочных испытаний является диагностический контроль, позволяющий выявлять скрытые дефекты изделий на ранних этапах производства на основе анализа так называемых информативных параметров. Особенностью диагностического контроля является его индивидуальный характер, обусловленный необходимостью контроля каждого изделия или элемента и ориентацией на определенный вид дефекта. Эти особенности, а также отсутствие методов и средств диагностирования применительно к отдельным видам дефектов и большая трудоемкость не всегда позволяют эффективно использовать эти методы. Решение о введении в технологический процесс какого-либо диагностического отбраковочного испытания может и должно приниматься на основе результатов анализа текущих значений уровня и характера дефектности изделий, оценки технической и экономической целесообразности и, главное, использования априорной информации об эффективности существующих методов по выявлению конкретных типов дефектов [5]. А для этого необходимо владеть колоссальной по объему соответствующей базой данных.

Возникает вопрос, возможна ли в настоящее время реализация высокоэффективного надежно-ориентированного управления процессом производства? Каждой технологии присуща определенная номенклатура дефектов, поэтому каждый тип комплектующих изделий, материалов так же, как и каждая технологическая операция производства, характеризуется определенной и, что очень важно, ограниченной номенклатурой возможных дефектов [6]. При этом в одной партии изделий или на одном из производственных участков могут преобладать лишь некоторые из возможных дефектов. Изменения в уровне и характере дефектности, как показывает практика, имеют место лишь при смене партий комплектующих изделий и материалов, регулировании отдельных операций технологического процесса либо при изменении квалификации обслуживающего персонала и т. п.

Следовательно, в относительно продолжительном промежутке времени характер и уровень дефектности изделий могут оставаться практически постоянными. Это позволяет сравнительно легко оценить целесообразность введения в технологический процесс отдельных отбраковочных операций на основе методов диагностики.

При известных видах дефектов и механизмах отказов несложно определить также виды воздействий, стимулирующих процессы деградации и отказов дефектных приборов при технологических тренировочных прогонах, обеспечив при этом неразрушающий характер испытаний для бездефектных изделий. Причем одни и те же виды воздействий обычно достаточно эффективно выявляют различные виды дефектов. К таким высокоэффективным видам воздействий относятся термоциклирование, вибрация в сочетании с электрической нагрузкой, выдержка при высокой температуре и некоторые другие.

Наиболее сложной является задача определения оптимальной продолжительности тренировочных прогонов. Она должна быть решена на основе результатов анализа отказов с использованием моделей деградации и отказов. К настоящему времени разработан целый

ряд физических, физико-статистических и статистических моделей, которые привязаны к конкретным механизмам отказов и в целом обеспечивают адекватное описание реальных процессов [7].

Таким образом, решение задачи выбора методов диагностического контроля и оптимизации режимов и условий тренировочных прогонов конкретных изделий возможно только с помощью специальной экспертной системы. Эта система включает в себя соответствующие базы данных по характерным дефектам, по механизмам и моделям деградации и отказов, по способам, методам и средствам их выявления и предотвращения. Основы такой экспертной системы созданы и опробованы в Институте проблем критических технологий и надежности радиоэлектроники (г. Одесса).

Таким образом, уже сегодня необходимо срочно обратиться к проблеме повышения надежности радиоэлектроники и в первую очередь – бортовых приборов. При существующих трудностях эту проблему необходимо решать централизованно, сконцентрировав основные усилия и скудные средства в одной организации, поручив ей возглавить и координировать все работы в Украине в данной области. Кроме того, целесообразно дооснастить эту организацию имеющимся и не используемым на других предприятиях исследовательским и испытательным оборудованием; привлекать специалистов для участия в испытаниях, в анализе причин брака, отказов и аварий; срочно начать исследовательские работы практического характера по ключевым и приоритетным видам техники с долевым финансированием и с последующим распространением предлагаемого комплексного подхода, разработанных методов, методик и средств на всех предприятиях радиоэлектронной и авиастроительной отраслей.

Эффект от таких мероприятий, на наш взгляд, бесспорен, ведь ведущие фирмы на задачи повышения надежности своей продукции тратят 10 – 30 % своих средств.

#### Список литературы

1. Шнер В.Л. Передовые зарубежные методы обеспечения качества продукции // Надежность и контроль качества. Сер. Статистические методы. – 1991. – № 10.
2. Ленков С.В., Фишер З.А. Надежно-ориентированное управление технологией производства РЭА // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 1993. – № 2. – С.3–5.
3. Горлов М.И. Повышение надежности полупроводниковых приборов и интегральных схем методом выравнивающей технологии // Электронная техника. Сер. Управление качеством, стандартизация, метрология, испытания. Материалы. – 1990. – Вып. 2 – 3.
4. Определение оптимальной продолжительности и режимов технологических тренировочных прогонов РЭА / С.В. Ленков, В.В. Зубарев, Т.И. Лавренова, Г.Т. Тариелашвили, З.А. Фишер // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 1998. – № 2. – С. 32–34.
5. Методы электрофизического диагностирования скрытых дефектов ИЭТ / Ленков С.В., Зубарев В.В., Фишер З.А., Тариелашвили Г.Т., Кабанов А.Д., Лавренова Т.И.; Одесса: Ин-т пробл. крит. технологий и надежности радиоэлектроники. – К., 1998. – 43 с. – Рус. – Деп. в УкрИНТЭИ 16.02.98. – № 101. – Ук98.
6. Ленков С.В., Зубарев В.В., Тариелашвили Г.Т. Физико-технический анализ причин отказов ЭРИ в составе РЭА // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 1997. – № 3. – С. 31–33.
7. Физико-статистические модели отказов изделий электронной техники и их применение в задачах обеспечения надежности РЭА / Ленков С.В., Фишер З.А., Зубарев В.В., Тариелашвили Г.Т.; Одесса: Ин-т пробл. крит. технологий и надежности радиоэлектроники. – К., 1998. – 21 с. – Рус. – Деп. в УкрИНТЭИ 16.02.98. – № 102. – Ук98.

Стаття надійшла до редакції 7 жовтня 1999 року