

*И.Ш. НЕВЛЮДОВ, д-р техн. наук, А.А. АНДРУСЕВИЧ, канд. техн. наук,  
Н.Г. СТАРОДУБЦЕВ, канд. техн. наук*

## **МОНИТОРИНГ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СБОРКИ И МОНТАЖА РЭС**

### **Введение**

Контроль (наблюдение изображения) монтажных соединений при мониторинге жизненного цикла радиоэлектронных средств (ЖЦ РЭС) на этапе производства можно рассматривать как часть технологического процесса, включающего последовательность операций изменения состояния предмета производства и операций технического контроля. Реальные технологические процессы [1 – 3] характеризуются необходимостью постоянной настройки режимов и оборудования ввиду большого количества объективных и субъективных факторов, вызванных изменением характеристик исходных материалов и энергоносителей, износом и нестабильностью работы оборудования, технологической оснастки, инструмента, квалификацией исполнителей и т.д.

Цель проведенных научных исследований - разработка новых принципов мониторинга технологического процесса сборки и монтажа РЭС.

### **Постановка задачи**

Появление изображения соединения, не соответствующего эталонному, можно рассматривать как отказ технологического процесса (ТП), вызванный его разладкой и сбоем. Уместно в этом случае рассматривать мониторинг как мероприятия по обеспечению показателей безотказности ТП. Задачей, требующей теоретического обоснования, является определение количества и периодичности проверок соединений в соответствии с ограничениями на технико-экономические показатели ТП.

Основная цель регламентных и других профилактических работ при мониторинге, обеспечивающих настройку ТП, – уменьшение параметров потока отказов до их минимальных значений.

Таким образом, разработка методов и средств мониторинга технического обслуживания и профилактики технологического процесса сборки и монтажа является актуальной проблемой, цель которой - повышение качества выпускаемых РЭС.

### **Анализ потока отказов в ТП сборки и монтажа РЭС**

Технологическая система должна обеспечивать производство продукта в заданных режимах. Способность системы гарантировать заданный результат характеризует ее надежность и качество.

Большинство свойств, характеризующих качество продукции, формируются в ходе технологических процессов. Несовершенство производственного процесса вызывает отклонения действительных значений качественных характеристик продукта от номинальных. В частности, на качество конечной продукции влияют неоднородность исходных материалов, человеческий фактор, несовершенство процессов, низкая надежность оснащения, инструментов, их изнашивание. Поэтому качество технологического процесса – важнейший из критериев, определяющих качество выпускаемых изделий.

Качество реализации технологических процессов обусловлено качеством технологии и технологической системы, включающей инфраструктуру, систему контроля и управления процессами, обслуживающий персонал.

Все технологические процессы, влияющие на качество продукта, должны контролироваться. Однако только использование хорошо организованной системы контроля показателей безопасности и качества материалов и готового продукта еще не гарантируют обеспечения высокого качества продукта. Необходимо еще и управлять процессом производства, понижая

влияние дестабилизирующих факторов, что можно достичь, располагая исчерпывающими сведениями о состоянии и возможностях производственных процессов.

Таким образом, для оценивания качества технологических процессов нужно:

- выбрать критерии оценки качества процессов;
- разработать методику количественной оценки качества процессов;
- разработать методологию контроля и управления технологическими процессами для обеспечения безопасности и качества производимой продукции.

Для количественной оценки качества технологических процессов, с точки зрения возможности обеспечения качества выпускаемой продукта, можно использовать показатели точности и устойчивости технологического потока.

Однако, если процессы основной деятельности протекают практически с неизвестными точностью, устойчивостью, надежностью, стохастичностью, чувствительностью, то из этого следует, что количественная оценка качества реализации процессов, а следовательно, и качества реализации технологии отсутствует.

Нельзя оценить качество технологии без учета применяемой технологической системы. Даже при использовании одних и тех же материалов и технологии процессы в различных технологических потоках будут протекать с различными показателями точности и устойчивости.

Поэтому возникает необходимость введения показателя, учитывающего свойства технологической системы и позволяющего оценить вероятность проведения технологических процессов в контролируемых условиях, соответствующих технологическому регламенту и гарантирующих выпуск высококачественного продукта. В качестве такого параметра будем использовать поток отказов [3].

Все операции ТП можно разделить на несколько групп в зависимости от скорости изменения параметра потока отказов (рис. 1).

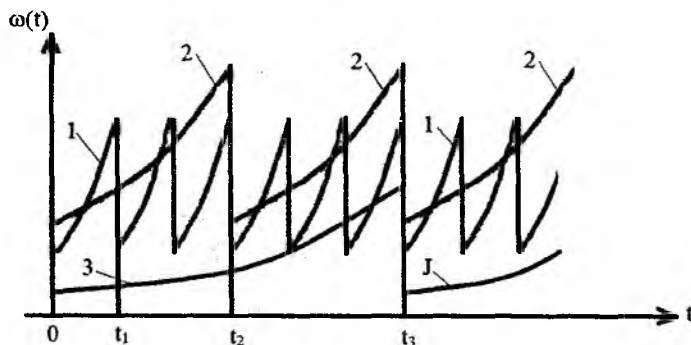


Рис. 1

Проанализируем график, изображенный на рис. 1. К первой группе относятся те ТП, параметр потока отказов которых возрастает до предельно допустимых значений за время наработки  $t_1$ . После выполнения регламентных работ на этих ТП их параметры потока отказов восстанавливаются (кривая 1).

Ко второй группе относятся ТП, параметр потока отказов которых возрастает до предельно допустимых значений за время  $t_2$  (например,  $t_2=3t_1$ , кривая 2). К третьей группе относятся ТП, предельные значения параметра потока отказов которых достигаются за время  $t_3$ , равное, например,  $t_3=2t_2$  (кривые 3), и т.д. К нулевой группе можно отнести ТП, параметры потока отказов которых за весь срок эксплуатации остаются постоянными.

Имея данные о характере изменения параметра потока отказов операций (частей) ТП, можно оценить периодичность выполнения регламентных работ (в случае метода техобслуживания по наработке) или работ по контролю состояния ТП. Оценку периодичности выполнения работ целесообразно произвести из условия получения максимального коэффициента работоспособности ТП.

Можно рассмотреть коэффициент работоспособности ТП в виде

$$K_n = \frac{t_n + t_{\text{пр}}}{t_o} = 1 - \frac{t_{\text{пр}} + t_b}{t_o}, \quad (1)$$

где  $t_o = t_n + t_{\text{пр}} + t_{\text{пр}} + t_b$ ;  $t_n$  – среднее время наработки за время  $t_o$ ;  $t_{\text{пр}}$  – среднее время простоя ТП, сюда входят и подготовительное время;  $t_{\text{пр}}, t_b$  – средние времена, затраченные соответственно на регламентные работы и на восстановление ТП;  $t_o$  – суммарное время (в часах) эксплуатации ТП за рассматриваемый календарный отрезок времени (исключая плановые настройки и восстановление работоспособности ввиду разладки ТП).

Выражение (1) можно представить как

$$K_n = 1 - K_{\text{пр}} K_{\text{пр}}, \quad (2)$$

где  $K_n = t_n / t_o$  – средний коэффициент наработки ТП за рассматриваемое календарное время;  $K_{\text{пр}} = (t_{\text{пр}} + t_{\text{в}}) / t_{\text{н1}}$  – средний коэффициент потерь на восстановление ТП;  $t_{\text{пр}}$  – среднее время выполнения регламентных работ в одном межрегламентном цикле;  $t_{\text{н1}}$  – наработка ТП за один межрегламентный цикл.

Среднее время поиска и устранения разладки ТП в одном межрегламентном цикле (периоде)

$$t_{\text{в1}} = T_b n(t_{\text{н1}}), \quad (3)$$

где  $T_b$  – среднее время поиска и устранения одного отказа;  $n(t_{\text{н1}})$  – среднее число отказов за один межрегламентный цикл.

Тогда средний коэффициент потерь на восстановление ТП можно представить как

$$K_{\text{пр}} = \frac{t_{\text{пр}} + T_b n(t_{\text{н1}})}{t_{\text{н1}}}. \quad (4)$$

Среднее число отказов и параметр потока отказов  $w(t)$  ТП связаны зависимостью

$$n(t_{\text{н1}}) = \int_0^{t_{\text{н1}}} w(t) dt. \quad (5)$$

В общем случае монотонная зависимость параметра потока отказов от времени

$$w(t) = \lambda_o + bt^c, \quad (6)$$

где  $\lambda_o$  – начальное значение параметра потока (интенсивности) отказов;  $b, c$  – коэффициент и показатель степени.

Из выражений (5) и (6) имеем

$$n(t_{\text{н1}}) = \lambda_o t_{\text{н1}} + \frac{b}{c+1} t_{\text{н1}}^{(c+1)}. \quad (7)$$

Из (4) и (6) следует

$$K_{\text{пр}} = \frac{t_{\text{пр}}}{t_{\text{н1}}} + T_b \lambda_o + \frac{b T_b}{c+1} t_{\text{н1}}^c. \quad (8)$$

Оптимальное значение межрегламентного ресурса ( $t_{\text{н1opt}}$ ) соответствует минимальному значению коэффициента потерь на восстановление  $K_{\text{пр}}$ . Для определения межрегламентного ресурса следует приравнять нулю производную от выражения (8) по  $t_{\text{н1}}$

$$\frac{dK_{на}}{dt_{н1}} = \left( -\frac{t_{pp1}}{t_{н}^2} + \frac{cbT_{в}}{c+1} t_{н1}^{c-1} \right)_{t_{н1opt}} = 0.$$

Отсюда

$$t_{н1opt} = \left[ \frac{(c+1)t_{pp1}}{cbT_{в}} \right]^{\frac{1}{c+1}}. \quad (9)$$

Из этого выражения видно, что для ТП, параметр потока (интенсивность) отказов которых постоянна ( $b = 0$ ), оптимальный межрегламентный ресурс равен  $\infty$ , т.е. регламентные работы нецелесообразны.

### **Планирование регламентных работ при проведении мониторинга ТП сборки и монтажа РЭС**

Повышение надёжности функционирования ТП сборки и монтажа РЭС включает в себя две проблемы:

- создание системы контроля, в том числе теоретическое обоснование и разработка методов прогнозирования;
- создание системы обеспечения надежности.

Создание системы контроля особое внимание уделяет разработке методов испытаний изделий по подтверждению уровня надежности и является необходимой, но далеко не достаточной задачей в проблеме повышения надежности. Контроль является пассивной частью общей проблемы проектирования ТП, результаты контроля дают ограниченную апостериорную информацию, не позволяющую оперативно осуществлять обратную связь с целью повышения надежности. В связи с этим важное значение приобретают прогнозирование и обеспечение надежности в системе мониторинга ТП сборки и монтажа РЭС.

Главной целью мониторинга является создание такой системы контроля, при котором по результатам несложной оценке параметров ТП можно расчетным путем определить основные показатели их качества. При этом необходимо создать математическую модель, описывающую изменение основных параметров процессов до критического состояния, и на основании этой модели и информации о первичных значениях этих параметров рассчитать (прогнозировать) предполагаемые значения сроков службы, сохраняемости и наработки (ресурса).

Поскольку любой контроль и прогнозирование показателей надежности производятся на готовом объекте, то в общей проблеме повышения надежности основная роль принадлежит мониторингу на всех стадиях разработки и производства изделий. Каждая из стадий характеризуется специфическими задачами для решения задач обеспечения безотказности функционирования ТП:

- выбор и разработка требований к исходным материалам; выбор оптимальных запасов прочности и оптимальных режимов ТП изготовления изделий; разработка программы испытаний и ее реализация; составление технической документации и т. д. (на стадии разработки);
- организация входного контроля исходных материалов; метрологическое обеспечение процесса производства; автоматизация процессов испытаний; разработка и внедрение комплексной системы управления качеством продукции и т. д. (на стадии серийного производства РЭС).

Для эффективного распределения и использования межрегламентного ресурса для мониторинга ТП монтажа, следует:

- составить точный перечень регламентных работ;
- оценить время  $t_{pp1}$  на их выполнение (используя данные для прототипа);
- оценить среднее время поиска и устранения отказа  $T_{в}$  в ТП. При этом можно воспользоваться зависимостью

$$T_{\text{в}} = \sum_{i=1}^N p_i t_{\text{в}i}, \quad (10)$$

где  $p_i$  – вероятность отказа  $i$ -й операции (части) ТП;  $t_{\text{в}i}$  – время поиска отказа и восстановления ТП при отказе в нем  $i$ -й операции (части) ТП;  $N$  – число учитываемых частей.

Зависимость (10) справедлива лишь для случаев, когда регламентные работы обеспечивают ликвидацию причин отказов, т.е. приводят к уменьшению интенсивности отказов. Если же причины возрастания интенсивности отказов не выявлены, то невозможно назначить перечень эффективных регламентных работ и установить оптимальную периодичность этих работ.

Тщательный анализ причин отказов, установление дополнительных операций контроля и соответствующих результатам контроля профилактических операций иногда могут обеспечить снижение значения уровня параметра потока (интенсивности) отказов. В данном случае речь идет не об оптимальном межрегламентном периоде, а о выполнении профилактических работ в зависимости от состояния ТП.

### Выводы

Таким образом, на основании разработанных принципов мониторинга и предложенных методов оценки безотказности функционирования ТП сборки и монтажа РЭС можно предложить планы проведения регламентных работ, которые зависят от приведенных типов потока отказов ТП. Методы рассматриваемого мониторинга встраиваются в систему межоперационного контроля, получаемая информация может быть использована в системе технического обслуживания и профилактики ТП сборки и монтажа РЭС. Совершенствование такой системы является необходимым условием улучшения показателей производства, характеризующих стабильность и надежность ТП, отсутствие простоев.

**Список литературы:** 1. Андрианов, А.С. Процессный подход к управлению техническим обслуживанием и ремонтом промышленного оборудования / А.С. Андрианов // Сб. науч. тр. «Труды соискателей и аспирантов». – Саратов : Научная книга, 2008. – С. 19-35. 2. Андрусевич, А.А., Невлюдов, И.Ш. Оценивание технологических свойств основных и вспомогательных материалов в производстве электронной техники / А.А. Андрусевич, И.Ш. Невлюдов // Вісті Академії інженерних наук України. – 2004. – №4 (24). – С. 120-124. 3. Андрусевич, А.А., Невлюдов, И.Ш., Второв, Е.П. Оценивание физико-химической активности материалов для монтажа электронной техники / А.А. Андрусевич, И.Ш. Невлюдов, Е.П. Второв // Технология приборостроения. – 2004. – №1. – С. 32-37.

*Харьковский национальный  
университет радиоэлектроники*

*Поступила в редколлегию 05.05.2012*