

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)» (СГАУ)

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРОННЫХ УЗЛОВ

Рекомендовано редакционно-издательским советом федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет)» в качестве методических указаний

САМАРА  
Издательство СГАУ  
2014

УДК 621.3(075)

ББК 32.85я7

Составители: *М.Н. Пиганов, С.В. Тюлевин*

Рецензент канд. техн. наук, доц. Г. П. Ш о п и н

**Анализ влияния конструктивно-технологических факторов на качество электронных узлов:** метод. указания / сост.: *М.Н. Пиганов, С.В. Тюлевин.* – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2014. – 12 с.

Методические указания предназначены для магистрантов, обучающихся по направлению 211000 «Конструирование и технология электронных средств».

УДК 621.3(075)

ББК 32.85я7

## **Общие сведения**

Цель занятия – приобретение навыков проведения анализа влияния конструктивно-технологических факторов на качество электронных узлов.

### **1. Порядок проведения**

1. Получить задание у преподавателя.
2. Ознакомиться с процедурой измерения и оценки качества поверхностно монтируемых электронных узлов.
3. Изучить возможные варианты устранения дефектов электронных узлов.
4. Оценить эффективность предупреждения дефектов сборки электронных узлов.

### **2. Как измерить и оценить качество**

Прежде всего определим понятие качества в контексте производства радиоэлектронной аппаратуры (РЭА).

Качество продукции – это совокупность свойств продукции, обуславливающих её возможность выполнять функции в полном соответствии с технической документацией и другими документами, регламентирующими характеристики продукции.

Для того чтобы достичь этого, необходимо, чтобы на всех стадиях производства было обеспечено соответствие технической документации критериям оценки качества. Такие критерии для сборочных операций, в частности, рекомендованы в стандарте IPC-A-610D «Критерии качества электронных сборок».

Повышение качества до требуемого уровня – это долгий путь, который может занять годы. И для того чтобы успешно пройти этот путь, требуются четкие индикаторы.

Всё прогрессивное человечество уже давно взяло на вооружение два основных индикатора, определяющих уровень эффективности управления качеством производства.

## 2.1. Уровень дефектности

Уровень дефектности – это статистический индикатор. Одним из наиболее комплексных и удобных индикаторов качества процесса является показатель количества дефектов на миллион возможностей, или DPMO.

$$DPMO = \frac{1000000 \times \text{Количество дефектов}}{\text{Количество модулей} \times \text{Количество возможных дефектов на модуле}}$$

Методика расчёта показателя DPMO для сборки печатных узлов подробно приведена в стандарте IPC-7912. Данный индикатор учитывает все дефекты, которые возникли на производстве, независимо от того, где они были обнаружены – на предприятии или за его пределами.

Количество дефектов =  $D_c + D_p + D_t$ .

Количество возможных дефектов на модуле =  $O_c + O_p + O_t$ .

**Возможный дефект компонента ( $O_c$ )** – любое устройство или часть, зафиксированная на печатной плате навсегда. Припой, флюс и другие материалы для сборки не учитываются при расчете DPMO. Печатная плата принимается в расчётах за один компонент. На один компонент считается только одна возможность дефекта, даже если у компонента несколько выводов.

**Дефект компонента ( $D_c$ )** – любой видимый или невидимый дефект, связанный с компонентом, который нарушает критерии стандарта J-STD-001 или IPC-A-610. Один компонент может иметь более чем один дефект, но любая комбинация дефектов одного компонента считается за один дефект. Дефекты, принимаемые в расчёт, подробно приведены в стандарте IPC-7912. В их числе:

- физическое повреждение компонента;
- отклонение физических размеров компонента;
- расслоение печатной платы;
- коробление и деформация печатной платы;
- отклонение электрических параметров компонента;
- неверная или некачественная маркировка;
- неправильная форма выводов;

- неправильная реакция на воздействия;
- некачественное влагозащитное покрытие;
- некачественная очистка (загрязнённый компонент).

**Возможность дефекта установки ( $O_p$ )** – окончательное расположение компонента на плате, включая его отсутствие. Голая печатная плата не принимается в расчёт. На один компонент считается только одна возможность дефекта, даже если у компонента несколько выводов.

**Дефект установки ( $D_p$ )** – любой дефект, связанный с позиционированием компонента на печатной плате, включая его отсутствие, который не соответствует требованиям стандарта J-STD-001 или JPC-A-610. Один компонент может иметь более чем один дефект, но любая комбинация дефектов одного компонента считается за один дефект. Дефекты, принимаемые в расчёт, подробно приведены в стандарте JPC-7912. В их числе:

- лишний компонент;
- неправильный компонент;
- перевернутый вверх ногами компонент или нарушенная полярность;
- неправильная позиция компонента;
- неправильная высота установки;
- дефект «надгробного камня»;
- некорректная связь вывода и провода;
- неверная прокладка провода.

**Возможность дефекта контактного соединения ( $O_c$ )** – любое отверстие, контактная площадка или другой объект, к которому компонент подсоединён электрически. Количество возможных дефектов на одно контактное соединение равно одному; например, если у компонента 100 выводов, то количество возможных дефектов соединения равно 100.

**Дефекты контактных соединений ( $D_c$ )** – любые электрические соединения, которые нарушают требования стандартов J-STD-001 или JPC-A-610. Каждое соединение может иметь более одного дефекта, но любая комбинация дефектов одного контактного соединения принимается за один дефект. Например, перемычка считается за два дефекта, по одному на каждое контактное соединение. Дефекты, принимаемые в расчёт, подробно приведены в стандарте JPC-7912. В их числе:

- нарушение минимального расстояния между соединениями;
- отсутствующий или приподнятый проводник или контактная площадка;
- некачественное паяное соединение или его отсутствие;
- холодная пайка или повреждённая галтель;
- излишки припоя или перемычка;
- дефект плохого смачивания контакта;
- несоответствующее выступание вывода;
- «птичья клетка» (повреждённая укладка соединительных проводов);
- дефекты, вызванные капиллярным эффектом соединительного провода (кабеля)<sup>1</sup>.

В качестве эталона большинством мировых специалистов принимается уровень дефектности в 3,467 дефекта на один миллион возможностей или 0,0003467 %, что считается условно бездефектным производством. Когда звучит фраза про уровень качества 6 сигма, то подразумеваются именно эти показатели.

Микель Хэрри в своей статье «Шесть сигма: прорывная стратегия для прибыльности», опубликованной в мае 1998 г. в издании Quality Progress, сделал следующий вывод: «Средняя американская компания находится на уровне 4 сигма». 4 сигма в методике расчёта, принятой в концепции «6 сигма», соответствует уровню дефектности 6200 DPMO, или 0,62 %.

## ***2.2. Стоимость качества***

Стоимость качества – комплексная оценка всех затрат, связанных с обеспечением качества продукции и устранением её недостатков. Основные статьи затрат, учитываемые при оценке качества, приведены в табл. 1.

---

<sup>1</sup> Традиционно принято отслеживать уровень дефектности индивидуально на каждом из четырех критичных участков процесса: поверхностный монтаж, монтаж компонентов в отверстия, пайка волной, механическая сборка.

Таблица 1. Расчёт стоимости качества

Статья затрат		Описание	Примеры
1. Цена соответствия продукции	1.1. Затраты на <b>предупреждение</b> дефектов	Вытекает из затрат на предотвращение появления дефектов	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Планирование качества</li> <li>• Статистический контроль процесса (SPC)</li> <li>• Инвестиции в ПО для управления качеством</li> <li>• Обучение вопросам качества и повышение квалификации персонала</li> <li>• Оценка конструкции изделия</li> <li>• Разработка системы менеджмента качества, внедрение и поддержание</li> </ul>
	1.2. Стоимость оценки соответствия требованиям качества	Вытекает из затрат на контроль, инспекцию и аудиты	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Контроль и инспекция комплектации</li> <li>• Инспекция</li> <li>• Тестирование и испытание</li> <li>• Инфраструктура для тестирования и инспекции</li> <li>• Контрольно-инспекционное оборудование</li> <li>• Аудит качества. Полевые испытания</li> </ul>
2. Цена несоответствия продукции (COPQ)	2.1. Затраты на дефекты, выявленные на предприятии	Вытекают из дефектов, обнаруженных на предприятии и устранённых путём уничтожения или восстановления дефектных изделий	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Затраты на списание и утилизацию</li> <li>• Ремонт</li> <li>• Затраты на покупку комплектующих и расходных материалов</li> <li>• Снижение полезной «производительности» оборудования и персонала</li> </ul>
	2.2. Затраты на дефекты, выявленные за пределами предприятия	Вытекают из дефектов, которые были обнаружены клиентами и пользователями	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Обработка рекламаций во время и после гарантийного срока</li> <li>• Затраты на технический сервис</li> <li>• Компенсации</li> <li>• Отзыв продукции</li> <li>• Потеря репутации и доверия</li> </ul>

Цену несоответствия продукции (статья затрат 2 в табл. 1) принято называть стоимостью плохого качества. В англоязычных документах обозначается как (COPQ) (Cost of Poor Quality) или POS (Poor Quality Cost). При этом ведущий мировой эксперт в области вопросов качества Микель Хэрри в своей публикации, упомянутой ранее, привёл показатели зрелости системы управления качеством производства (табл. 2).

Таблица 2. Показатели зрелости системы управления качеством

Сигма	ДРМО	Стоимость плохого качества (COPQ)	Уровень зрелости
6 сигма	3,4	1–10% оборота	Идеальный уровень
5 сигма	230	10–15% оборота	Выше среднего
4 сигма	6200	15–20% оборота	Средний уровень
3 сигма	67000	20–30% оборота	Ниже среднего
2 сигма	310000	30–40% оборота	Неконкурентный уровень
1 сигма	700000		Неконкурентный уровень

В среднем в США затраты, вызванные дефектами (COPQ), составляют 15–20 % от оборота производственных предприятий. Так, производственная компания с оборотом в 10 млн. долларов несёт ежегодные потери в районе 1,5–2 млн. долларов на покрытие затрат, вызванных дефектами продукции.

### 3. Баланс между предупреждением и устранением дефектов

В большинстве случаев на российских предприятиях, производящих серийную продукцию, цена несоответствия продукции (затраты, вызванные наличием дефектов, COPQ) существенно превышает цену соответствия.

Согласно мнению ряда экспертов, в зависимости от отрасли стоимость плохого качества в большинстве случаев должна быть не более 20–40 % от общей стоимости качества. То есть речь идёт о том, что основные усилия должны быть направлены на предупреждение и раннее обнаружение дефектов, а не на их устранение на поздних стадиях и ликвидацию связанных с этим потерь.

Считается, что увеличение затрат на предупреждение дефектов и их раннее обнаружение приводит к ещё большей экономии на снижении уровня дефектности и затрат на контроль.

Часто в ситуации, когда идёт рост количества дефектов, предприятия инвестируют в новые средства контроля и дополнительный персонал, осуществляющий инспекцию, вместо устранения первопричины дефекта. В итоге увеличиваются затраты по статьям 1.2, 2.1, 2.2 (табл. 1), как результат увеличивается стоимость качества. В данной ситуации необходимо уделить внимание вопросам предупреждения дефектов и инвестировать средства в статью затрат 1.1 (табл. 1).

Крайне важно выдерживать баланс между уровнем дефектности и ценой качества. Цена качества напрямую влияет на себестоимость продукции. Путём существенного повышения инвестиций в качество может быть достигнуто снижение уровня дефектности, но цена изделия может перестать быть конкурентоспособной. Кстати, также не стоит забывать, что более качественная продукция должна стоить дороже, чем менее качественная.

Рассмотрим одну из возможных стратегий повышения цены качества и снижения затрат.

На первом этапе внедряются первоочередные мероприятия по предупреждению дефектов, в частности:

- корректировка (при необходимости) конструкции изделия с целью снижения риска появления дефектов;
- внедрение мер антистатической защиты на складах и производстве;
- внедрение мероприятий по исключению повреждения комплектации, технологических материалов и изделий при хранении и перемещении;
- планирование и внедрение средств снижения риска ошибок оператора;
- внедрение мероприятий входного контроля комплектации;
- разработка внутренних регламентирующих документов;
- набор и обучение необходимого персонала и т. д.

Также реализуется оснащение производства необходимым контрольно-инспекционным оборудованием с акцентом на раннее обнаружение дефектов. В частности, приоритет внутрисхемного контроля печатных узлов может быть выше, чем функционального тестирования,

а приоритет контроля нанесения паяльной пасты выше, чем у рентгеновского контроля (для предупреждения дефектов пайки микросхем в корпусах BGA).

Внедрение этих мероприятий приведёт к немедленному снижению количества дефектов и снижению затрат на их устранение. Затраты на оборудование при наличии современных форм финансирования, таких как лизинг, могут быть распределены во времени.

На втором этапе проводится так называемая «тонкая настройка» процессов, связанных с производством продукции.

Меры по предупреждению будут расширены. Кстати, скорее всего, часть компонентов будет заменена на более качественные и, что вероятно, более дорогостоящие. Это также стоит учитывать как одну из составляющих в статье предупреждения дефектов. Правда, это в итоге будет компенсировано тем, что оборудование будет осуществлять больше полезной работы вместо производства дефектной продукции, а также снизит затраты на устранение дефектов.

На этом этапе основное оборудование будет полностью или частично амортизировано, что существенно снизит затраты на контроль качества.

На этом же этапе необходимо интегрировать систему управления качеством в ERP-систему предприятия. В частности, должны быть реализованы решения для прослеживаемости (tractability). Это облегчит выявление причинно-следственных связей при анализе дефектов и ускорит внедрение корректирующих мероприятий.

На втором этапе стоимость качества должна быть существенно снижена по сравнению с начальным состоянием. Это позволит снизить себестоимость продукции и либо увеличит рентабельность продаж продукции, либо снизит цену и тем самым окажется привлекательнее конкурентов в погоне за долей рынка.

Все последующие действия должны быть направлены на сведение уровня дефектности к нулю при соблюдении ограничений на стоимость качества. Основное направление движения уже задано, необходимо только не останавливаться. Ключевыми элементами успеха данной деятельности являются дисциплина и мотивация персонала.

#### 4. Предупреждение дефектов сборки

Под предупреждением дефектов мы подразумеваем действия и применение средств, которые исключают или снижают уровень дефектности. На сегодняшний день нет единого мнения, где же находится граница предупреждения, и начинается обнаружение дефектов. Поэтому предлагается в качестве этой границы рассматривать операцию пайки оплавлением. Итак, если мы обнаруживаем какое-то несоответствие до того, как плата с установленными компонентами вышла из печи оплавления, то мы не считаем, что дефект имел место быть.

Эффективность деятельности по предупреждению дефектов должна быть отражена в снижении показателей уровня дефектности, например, в уменьшении DPMO.

#### Библиографический список

1. Липкин, Е. Комплексный подход к обеспечению качества сборки РЭА в серийном производстве [Текст]: приложение к бюллетеню «Поверхностный монтаж» / *Е. Липкин*. – М: Ostec, 2011, июль. – 36 с.
2. Бурчакова, М.А. Управлением качеством [Текст]: учеб. пособие / *М.А. Бурчакова, М.Ф. Мизинцева*. – М.: Изд-во Рос. ун-та дружбы народов, 2004. – 200 с.
3. Гиссин, В.И. Управлением качеством [Текст]: [учеб. пособие для вузов] / *В.И. Гиссин*. – 2-е изд., доп. и перераб. – М. ; Ростов н/Д : Изд. центр «Март», 2003. – 395 с.
4. Пиганов, М.Н. Технологические основы обеспечения качества микросборок [Текст]: учеб. пособие / *М.Н. Пиганов*. – Самара: СГАУ, 1999. – 231 с.
5. Пиганов, М.Н. Методы и средства контроля полупроводниковых и диэлектрических материалов и структур [Текст]: учеб. пособие / *М.Н. Пиганов*. – Самара: Изд-во СГАУ, 2009. – 120 с.

Учебное издание

**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ  
КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ  
НА КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРОННЫХ УЗЛОВ**

*Методические указания*

Составители: *Пиганов Михаил Николаевич,  
Тюлевин Сергей Викторович*

Редактор Ю.Н. Литвинова  
Доверстка: Л.Р. Дмитриенко

Подписано в печать 16.09.2014. Формат 60×84/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Печ. л. 0,75. Тираж 100 экз.

Заказ . Арт. 48/2014.

Самарский государственный аэрокосмический университет.  
443086 г. Самара, Московское шоссе, 34.

---

Изд-во Самарского государственного аэрокосмического университета  
443086 г. Самара, Московское шоссе, 34.