

Рентгеновский контроль электронной компонентной базы

А. Алыков¹, Т. Корбанкова², А. Кулибаба³,
А. Сашов, к. т. н.⁴, М. Суконкин⁵

УДК 620.192.63 | ВАК 05.13.01

Надежность изделий ЭКБ, используемых в приборостроении, влияет на надежность радиоэлектронной аппаратуры в целом. Для ее обеспечения предлагается проводить сплошной рентгеновский контроль пассивных и электромеханических компонентов. Рентгеновский контроль внутренней структуры электронных компонентов является перспективным методом диагностического неразрушающего контроля для выявления потенциально ненадежных или обладающих признаками контрафакта изделий. Эффективность данного метода рассмотрена на примере испытаний танталовых чип-конденсаторов. Для повышения оперативности контроля большого количества компонентов и снижения влияния человеческого фактора возможно использовать средства автоматической обработки изображений. В статье рассмотрен ряд методов, наиболее подходящих для автоматизации процесса поиска дефектов, и результаты проведенной апробации.

Производство электронной компонентной базы (ЭКБ) всегда сопровождается определенной вероятностью получения брака, связанного с несовершенством технологии производства, дефектами исходных материалов, человеческим фактором. Применение ЭКБ с дефектами в высоконадежной аппаратуре космического назначения недопустимо, поэтому необходимо проводить ее сплошной входной контроль и дополнительные испытания для выявления потенциально ненадежных изделий.

Для повышения качества отбраковки пассивных и электромеханических компонентов, используемых в бортовой аппаратуре, предлагается использовать рентгеновский контроль. Рентгеновский контроль – один из распространенных методов неразрушающего контроля внутренней структуры ЭКБ, который позволяет выявить скрытые дефекты, а также изделия, имеющие признаки контрафакта [1].

На данный момент основной проблемой проведения рентгеновского контроля является отсутствие актуальной нормативно-технической базы по данному направлению. Существующие отечественные стандарты не содержат информации о проведении рентгеновского контроля ЭКБ. В технических условиях (ТУ) на изделия испытание «рентгеновский контроль» отсутствует. Однако данный метод широко применяется за рубежом при комплектации высоконадежной аппаратуры космического назначения [2, 3].

ВНЕДРЕНИЕ РЕНТГЕНОВСКОГО КОНТРОЛЯ ЭКБ

В Научном центре сертификации элементов и оборудования (НЦ СЭО) АО «Российские космические системы» в качестве дополнительного испытания был внедрен рентгеновский контроль пассивных и электромеханических компонентов. Критерии отбраковки для различных типов ЭКБ были сформированы на основании зарубежных стандартов [3, 4] и др., а также ответов производителей на запросы по тем или иным выявленным несоответствиям.

Основываясь на статистике выявления отклонений, можно сказать, что рентгеновский контроль наиболее эффективен для конденсаторов, кабельных сборок, соединителей, реле, индуктивностей и трансформаторов. Так, для конденсаторов наиболее часто встречаются дефекты: наличие посторонних частиц в заливочном компаунде (рис. 1), дефекты заполнения контактных выводных гильз припоем, дефекты сварочных и паяных соединений

¹ АО «Российские космические системы», инженер-исследователь, ncseo@spacescorp.ru.

² АО «Российские космические системы», инженер по испытаниям, ncseo@spacescorp.ru.

³ АО «Российские космические системы», начальник отдела, ncseo@spacescorp.ru.

⁴ АО «Российские космические системы», начальник отделения, ncseo@spacescorp.ru.

⁵ АО «Российские космические системы», инженер-исследователь, ncseo@spacescorp.ru.



Рис. 1.
Посторонняя частица в компаунде танталового чип-конденсатора

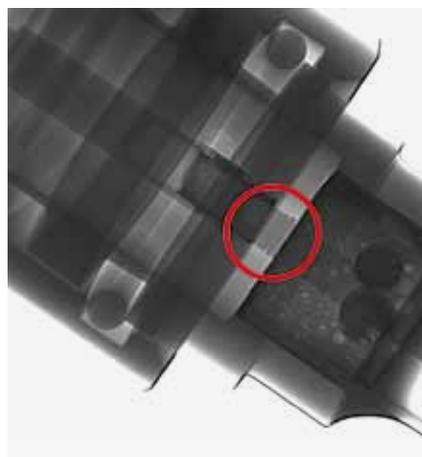


Рис. 2.
Повреждение центральной жилы кабельной сборки

внутренних элементов. Часто встречающиеся несоответствия кабельных сборок и соединителей: механические повреждения центральной жилы (рис. 2), пустоты в паяных соединениях. Рентгеновский контроль реле часто выявляет посторонние частицы (рис. 3), как закрепленные на стенках корпуса, так и свободно перемещающиеся. При проведении рентгеновского контроля индуктивностей и трансформаторов во внутренней структуре можно обнаружить трещины в феррите и посторонние частицы вблизи катушки (рис. 4).

Для установления связи между надежностью и наличием дефектов танталовых чип-конденсаторов в НЦ СЭО АО «Российские космические системы» было проведено экспериментальное исследование [5]. Отклонения внутренней структуры конденсаторов были разделены на группы: неоднородности формы анодного тела, некачественная сварка стержня анода с внешним выводом, посторонние частицы вблизи анодного тела и др. Далее были сформированы выборки изделий по данным группам и проведены испытания, типичные для выявления скрытых дефектов: термоциклирование, воздействие повышенной влажности и температуры, вибропрочность, заряд импульсным током, испытания на безотказность. После каждого испытания проводился контроль электрических параметров конденсаторов.

Результаты исследования подтвердили эффективность рентгеновского контроля для анализа качества внутренней структуры танталовых чип-конденсаторов:

- конденсаторы с посторонними частицами в компаунде вблизи танталового тела в среднем



Рис. 3. Посторонняя частица внутри реле

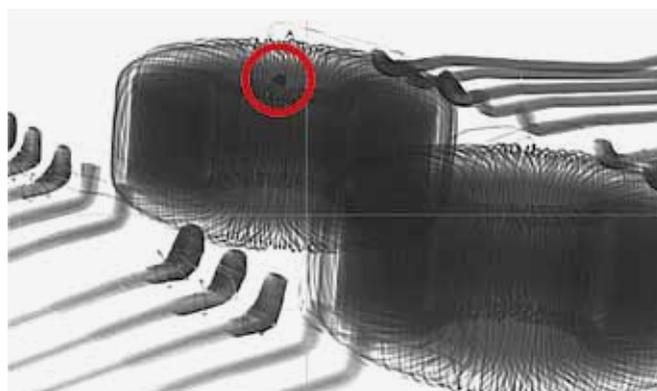


Рис. 4. Посторонняя частица внутри трансформатора

Таблица 1. Сравнение методов автоматической обработки рентгеновских изображений

Метод	Доля верно определенных дефектов, %	Доля верно определенных изображений без дефектов, %	Вероятность ошибки 1-го рода ¹ , %	Вероятность ошибки 2-го рода ² , %
Корреляционный анализ	27,5	92,5	72,5	7,5
Контурный анализ	77,5	88,8	22,5	11,3
Нейронная сеть	92,5	91,2	7,5	8,8

¹ Вероятность пропустить изображение с дефектом.

² Вероятность принять изображение без дефекта как изображение с дефектом.

отказывали раньше остальных на испытаниях на безотказность;

- партия конденсаторов с большим количеством различных отклонений в ходе испытаний на безотказность отказала почти полностью. Вероятнее всего, она являлась контрафактной.

По причине того, что рентгеновский контроль отсутствует в ТУ на изделия ЭКБ, при выявлении дефектов во внутренней структуре испытательный центр не имеет оснований для рекламации и согласовывает с производителем критичность того или иного дефекта. Как правило, производители запрашивают изделия для дополнительного анализа (иногда с использованием разрушающих методов) и вынесения вердикта «допустимо» или «недопустимо». Для установления единообразия подходов к трактовке результатов рентгеновского контроля целесообразно разработать и согласовать единую методику его проведения.

АВТОМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕНТГЕНОВСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Проведение рентгеновского контроля ЭКБ занимает много времени из-за необходимости анализа изображений силами оператора. Процесс визуальной инспекции

является рутинным. Все это ведет к увеличению процента незамеченного брака. Таким образом, разработка системы автоматической обработки рентгеновских изображений является актуальной.

Для примера рассмотрим поиск посторонних частиц во внутренней структуре ЭКБ. На основе анализа литературы [6] были выделены три подходящих метода распознавания подобных объектов на изображениях: контурный, корреляционный и с использованием нейронных сетей.

Контурный метод основывается на выделении контуров (границ объектов), поиске замкнутых контуров и вычислении их площади. Для поиска посторонних частиц площадь замкнутого контура должна быть существенно меньше самого изделия. Для выделения контуров можно использовать алгоритм Канни [7], обладающий низкой чувствительностью к шумам.

Корреляционный метод заключается в сравнении шаблона дефекта (маски) и исходного изображения путем его перемещения по всем точкам изображения и вычисления суммы произведений (корреляции) попиксельных значений маски и области изображения, попавшей под маску. Наибольшее значение корреляции соответствует области, наиболее схожей с маской, и если оно превышает порог, то дефект считается найденным. Для эффективного использования данного метода необходима объемная библиотека шаблонов дефектов.

Перспективным методом поиска дефектов является применение нейронных сетей. Про их устройство и принцип работы написано много литературы, тем не менее интерес к ним остается стабильно высоким [8]. Элементами нейронной сети являются нейроны (простейшие нелинейные вычислительные элементы), структурированные в виде сети. Ее ключевая особенность заключается в постоянной адаптивной настройке параметров нейронов на основе обучающих

ООО
СМП



ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИН
www.SMD.ru

электронные компоненты
для поверхностного монтажа

НОВОЕ В ПРОГРАММЕ ПОСТАВОК

- Керамические конденсаторы до 100 мкФ
- Синфазные дроссели на ток 10 А



Москва, Ленинградский пр. 80 к. 32, e-mail: sale@smd.ru
Тел.: (499) 158-7356, (495) 948-6244, (499) 943-6780

образов. Нейронная сеть является универсальным инструментом для поиска любого типа дефектов, однако для ее обучения требуются большие объемы данных, вычислительные ресурсы и время.

Предложенные методы сравнивались между собой по результатам обработки 160 рентгеновских изображений (табл. 1). Можно сделать вывод, что обнаружение посторонних частиц с помощью нейронных сетей является наиболее точным. Корреляционный анализ требует наличия шаблонов, соответственно, точность данного метода зависит от базы шаблонных дефектов. Метод контурного анализа занимает промежуточное положение между нейронными сетями и корреляционным анализом по точности.

* * *

Надежность изделий ЭКБ, используемых в приборостроении, сильно влияет на надежность радиоэлектронной аппаратуры в целом. Для ее обеспечения предлагается проводить сплошной рентгеновский контроль пассивных и электромеханических компонентов. Для повышения эффективности контроля целесообразно разработать и согласовать единую методику его проведения, а также разработать и применять инструменты автоматической обработки изображений.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Горбачев И. П., Корбанкова Т. Ю., Кулибаба А. Я., Сашов А. А.** Способы обнаружения признаков контрафактной ЭКБ // НАНОИНДУСТРИЯ. 2020. № 96. С. 216.
2. EEE-INST-002 «Instructions for EEE Parts Selection, Screening, Qualification, and Derating», 2008.
3. ESCC Basic Specification No. 2095000, 2099000, 2093501, 2094000, 2093000, 2093502 "Radiographic inspection...", ESA, 2002, 2003.
4. MSFC-STD-355C "Radiographic Inspection of Electronic Parts", NASA Marshall Space Flight Center, 1975.
5. **Альков А. Н., Булаев И. Ю., Корбанкова Т. Ю., Кулибаба А. Я.** Анализ влияния внутренних дефектов на надежность танталовых конденсаторов // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. 2020. Т. 7. Вып. 2. С. 90–96.
6. **Гонсалес Р., Вудс Р.** Цифровая обработка изображений / 3-е изд., испр. и дополн. М.: ТЕХНОСФЕРА, 2019. 1104 с.
7. **Canny J. A.** Computational Approach to Edge Detection // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1986. V. 8. PP. 679–714.
8. **Md. Rakib Hossain Khan.** Deep Learning Based Medical X-ray Image Recognition and Classification, Department of Computer Science and Engineering BRAC University, Dhaka – 1212, Bangladesh, 2018. 25 p.



Акционерное общество

ЭРКОН

Научно-производственное объединение

ПРОИЗВОДСТВО, РАЗРАБОТКА И ПОСТАВКА ПОСТОЯННЫХ РЕЗИСТОРОВ, АТТЕНУАТОРОВ И ЧИП-ИНДУКТИВНОСТЕЙ

- Современная производственная база
- Высокое качество
- Индивидуальный подход к потребителю

НОВИНКИ

Аттенуатор (поглотитель) ПР1-25 (150 Вт, 500 Вт от 3–40 дБ)
 Резистор сверхвысокочастотный Р1-160 (до 40 ГГц)
 Мощный резистор Р1-170 (до 1000 Вт)

603104, г. Нижний Новгород, ул. Нартова, д. 6
 тел.: (831) 202-24-34 (многоканальный),
 (831) 202-25-52 (отдел продаж)
 e-mail: info@erkon-nn.com
 www.erkon-nn.ru

