

Большакова Анна Андреевна, студентка
Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М.Ф. Решетнёва
Bolshakova Anna Andreevna

Научный руководитель:
Фатеев Алексей Владимирович
Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М.Ф. Решетнёва
Fateev Alexey Vladimirovich

**АНАЛИЗ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКИХ
ОПТИЧЕСКИХ ИНСПЕКЦИЙ ЭЛЕКТРОННЫХ МОДУЛЕЙ
РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**
**ANALYSIS OF AUTOMATIC OPTICAL INSPECTION SYSTEMS FOR ELECTRONIC
MODULES OF SPACECRAFT RADIO-ELECTRONIC EQUIPMENT**

Аннотация. В статье представлен анализ систем автоматических оптических инспекций для электронных модулей радиоэлектронной аппаратуры космических аппаратов. Обосновывается критическая значимость автоматической оптической инспекции в условиях повышенных требований к надёжности космической электроники. Описаны ключевые требования, а также рассмотрен базовый принцип работы автоматических оптических инспекций. Проведён сравнительный анализ трёх ведущих производителей оборудования Cyberoptics Corporation, Nordson Corporation и Vitrox Technologies. Выбор подходящего программно – аппаратного комплекса автоматической оптической инспекции в сравнении с тремя ведущими производителями оборудования, обеспечивающего автоматизированное выявление дефектов с точностью не ниже 99,5 %.

Abstract. The article presents an analysis of automatic optical inspection systems for electronic modules of spacecraft radio-electronic equipment. The critical importance of automatic optical inspection in the conditions of increased requirements for the reliability of space electronics is substantiated. The key requirements are described, and the basic principle of operation of automatic optical inspections is considered. A comparative analysis of three leading equipment manufacturers Cyberoptics Corporation, Nordson Corporation, and Vitrox Technologies is carried out. The choice of a suitable software and hardware complex of automatic optical inspection in comparison with three leading equipment manufacturers, providing automated detection of defects with an accuracy of at least 99.5%.

Ключевые слова: Автоматическая оптическая инспекция, радиоэлектронная аппаратура, космическая аппаратура, контроль качества.

Keywords: Automatic optical inspection, radio-electronic equipment, space equipment, quality control.

1. Введение

В условиях возрастающих требований к надежности космической аппаратуры особую значимость приобретает контроль качества сборки электронных модулей. Автоматические оптические инспекции стали неотъемлемым элементом производственного контроля, позволяющим выявлять дефекты монтажа радиоэлементов на печатных платах с высокой точностью и воспроизводимостью.

Специфика космической электроники предъявляет повышенные требования к системам автоматических оптических инспекций, включая сверхвысокую достоверность обнаружения дефектов (уровень пропуска дефектов – не более 0,01%), возможность работы с миниатюрными



компонентами такими, как резисторы, конденсаторы, светодиоды, индуктивные элементы и другие, устойчивость к ложным срабатываниям при наличии технологических особенностей плат, верификацию сложных многослойных конструкций, документирование результатов с возможностью долгосрочного архивирования.

2. Ключевые требования к системам автоматических оптических инспекций в космической электронике

Современные системы автоматических оптических инспекций базируются на комбинации методов машинного зрения и алгоритмической обработки изображений. Базовый принцип работы включает: получение высокоразрешающих изображений контролируемой области с различных ракурсов; сравнение полученных изображений с эталонной моделью (идеальные изображения); анализ отклонений по геометрическим, оптическим и позиционным параметрам; классификация дефектов с использованием алгоритмов искусственного интеллекта.

3. Критерии выбора системы АОИ: ключевые параметры качества

При выборе автоматической оптической инспекции важно учитывать ключевые параметры качества инспекции, а именно разрешение оптической системы (до 5 мкм/пиксель), скорость сканирования (± 10 мкм), динамический диапазон камеры (не менее 12 бит).

Вместе с тем стандартные серийные системы автоматической оптической инспекции не всегда в полной мере учитывают специфику производства бортовой радиоэлектронной аппаратуры космических аппаратов. Это обуславливает необходимость разработки специализированных рабочих мест, ориентированных на обнаружение конкретных типов дефектов и адаптированных к особенностям перечисленных выше компонентов, что позволит обеспечить требуемый уровень надёжности и качества космической электроники.

4. Анализ ведущих производителей оборудования для автоматической оптической инспекции

В сегменте автоматизированной оптической инспекции для электроники лидирующие позиции занимают три производителя: Cyberoptics Corporation, Nordson Corporation и Vitrox Technologies. Далее рассмотрим и сопоставим ключевые характеристики, технологические особенности и целевых ниш трёх ведущих производителей оборудования для автоматической оптической инспекции.

Cyberoptics Corporation. Компания предлагает системы автоматической оптической инспекции с технологией Multi-Reflection, позволяющей эффективно подавлять блики и отражения. Ключевые преимущества:

- 2D-сканирование с разрешением до 3 мкм
- высокая скорость инспекции (>80 МГц частота захвата данных)
- интеграция с системами контроля паяльной пасты
- обнаружение дефектов >98,5%.

Ограничения: высокая стоимость оборудования и сложность интеграции в мелкосерийное производство [1].

Nordson Corporation. Подразделение Asymtek (в составе Nordson) фокусируются на комплексных решениях для нанесения материалов и контроля. Системы автоматической оптической инспекции отличаются: модульной архитектурой, возможностью интеграции с оборудованием дозирования, 2D-сканирование с разрешением до 5 мкм, относительно средняя скорость инспекции (>60 МГц частота захвата данных), – обнаружение дефектов >99 %.

Недостаток: ориентация на крупносерийное производство, ограниченная гибкость для единичного и мелкосерийного выпуска космической аппаратуры [2].



Vitrox Technologies. Малазийский производитель предлагает линейку автоматических оптических систем с акцентом на гибкость и адаптивность. Модель V510i SE представляет собой оптимальное решение для контроля электронных модулей космической аппаратуры благодаря следующим характеристикам:

- универсальность применения: поддержка всех типов компонентов, работа с платами толщиной до 6мм и размером 510x510мм
- высокоточная оптика: 2D-сканирование с разрешением до 7 мкм, 8-зонная LED-подсветка с регулируемой интенсивностью, автофокус с точностью $\pm 2\text{мкм}$, обнаружение дефектов >99,3 %. Одно из преимуществ модели V510i SE – автоматическое создание программ инспекции по CAD-данным, компактный дизайн (1300x1100x1600мм), интуитивный интерфейс на базе Windows 10 IoT [3].

5. Обоснование выбора оптимальной системы автоматической оптической инспекции

На основании проведенного анализа систем автоматических оптических инспекций электронных модулей радиоэлектронной аппаратуры космических аппаратов представляется обоснованным выбор системы Vitrox V510i SE в качестве оптимального решения для контроля радиоэлементов.

При производстве электронных модулей для космической аппаратуры предъявляются особо жесткие требования к контролю качества монтажа радиоэлементов. В этих условиях система автоматической оптической инспекции Vitrox V510i SE демонстрирует оптимальное сочетание функциональных возможностей, обеспечивающее надежность и эффективность производственного процесса. Ключевым преимуществом системы является гибкость настройки. В отличие от решений, ориентированных на массовое производство, V510i SE позволяет разрабатывать индивидуальные программы инспекции для каждого типа печатной платы. Это критически важно для космической отрасли, где типичны малые серии выпуска, а каждое изделие может иметь уникальную конфигурацию.

Не менее значима высокая точность обнаружения дефектов, обеспечиваемая передовой оптической системой и интеллектуальными алгоритмами анализа изображений. Система гарантированно выявляет: смещение компонентов относительно проектного положения, дефекты пайки, включая недостаточный объем припоя, перемычки между контактными площадками шириной свыше 50мкм, отсутствие установленных компонентов.

Оперативность переходов между различными программами инспекции (менее 2 минут) существенно сокращает производственные простои при переходе на выпуск нового изделия. Это особенно ценно в условиях частой смены номенклатуры и необходимости быстрого реагирования на изменения конструкторской документации. Важным аспектом является полноценное документирование результатов контроля. Система автоматически формирует детализированные отчеты в стандартных форматах PDF и Excel, включающие сводную статистику по выявленным дефектам, фотофиксацию проблемных участков с привязкой по координатам на плате, данные о времени и параметрах инспекции.

Такой подход к выбору (документированию) полностью соответствует требованиям военного стандарта ГОСТ РВ0008-002-2013 [4], что делает Vitrox V510i SE пригодной для использования в сертификационных производствах космической радиоэлектронной аппаратуры.

6. Заключение

В рамках работы рассмотрены три ведущих производителя оборудования для автоматических оптических инспекций (АОИ) – **Cyberoptics Corporation**, **Nordson Corporation** (подразделение Asymtek) и **Vitrox Technologies** – и проведен сравнительный анализ их технологических решений применительно к задачам контроля качества космической электроники.



На основании проведённого анализа система **Vitrox V510i SE** признана оптимальным решением для контроля радиоэлементов в космической аппаратуре. Её ключевые преимущества – гибкость, адаптивность к специфике мелкосерийного производства и соответствие жёстким требованиям космической отрасли по точности и надёжности контроля.

Результаты исследования могут быть использованы при модернизации производственных линий для сборки бортовой радиоэлектронной аппаратуры, а также при разработке специализированных рабочих мест для автоматизированного контроля качества. В перспективе развитие автоматической оптической инспекции будет связано с дальнейшей интеграцией ИИ-алгоритмов и повышением разрешающей способности оптических систем.

Список литературы:

1. Официальный сайт Cyberoptics Corporation (cyberoptics.com).
2. Nordson Asymtek Product Catalog 2024.
3. Источник: Vitrox V510i SE Technical Datasheet (vitrox.com).
4. ГОСТ Р В0008-002-2013. Система стандартов по защите информации. Требование к оформлению протоколов испытаний.

