

Дормидошина Дарья Андреевна,
Технический директор, АО «ЦКБ «Дейтон»
Dormidoshina Daria A., Technical Director
JSC «CDO «Deyton»

Рубцов Юрий Васильевич,
Генеральный директор, АО «ЦКБ «Дейтон»
Rubtsov Yuriy V., General Director
JSC «CDO «Deyton»

**МЕТОДЫ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ КАМЕР
ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ДЕФЕКТОВ ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ
С ПОМОЩЬЮ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА
CAMERA POSITIONING METHODS FOR DETECTING DEFECTS
IN ELECTRONIC PRODUCTS USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE**

Аннотация. Статья посвящена вопросам выбора и расположения камер в системах автоматизированного визуального контроля для обнаружения дефектов. Рассматриваются ключевые технические параметры, такие как разрешение, поле зрения и рабочее расстояние, которые влияют на эффективность системы. Приводятся различные методы позиционирования камер, включая стереозрение и установку под разными углами, для инспекции сложных поверхностей. Анализируются практические примеры настройки систем контроля для конкретных типов изделий электронной техники. Описывается процесс интеграции камеры в систему, включая этапы настройки, обучения модели и тестирования для достижения высокой точности обнаружения дефектов.

Abstract. This article examines the selection and placement of cameras in automated visual inspection systems for defect detection. Key technical parameters, such as resolution, field of view, and working distance, which influence system performance, are discussed. Various camera positioning methods, including stereo vision and multi-angle installations, are presented for inspecting complex surfaces. Practical examples of configuring inspection systems for specific types of electronic products are analyzed. The process of camera integration into the system is described, including the stages of setup, model training, and testing to achieve high defect detection accuracy.

Ключевые слова: Камера, искусственный интеллект, изделия электронной техники, дефект, проверка качества.

Keywords: Camera, artificial intelligence, electronic products, defect, quality control.

Введение

Брак продукции является серьёзным бременем для предприятий. Они тратят 15–20% выручки от продаж на расходы, связанные с качеством, а некоторые – до 40% от общего объёма операций. Обнаружение дефектов до выхода продукции на рынок и принятие дополнительных мер по их предотвращению – всё это сокращает количество брака и доработок, экономя время и повышая прибыль производителя [1].

Производители чаще обращаются к решениям автоматизированного контроля качества, исключая субъективность из процесса контроля, обеспечивая более стабильные результаты и снижение рисков человеческих ошибок [2].

Системы обнаружения дефектов на поверхностях изделий электронной техники (ИЭТ) с помощью компьютерного зрения (КЗ) представляют собой программно-аппаратный комплекс, в котором применяются технологии искусственного интеллекта (АПАК). В АПАК используются датчики изображения. Они позволяют выполнять съём изображений и автоматически обнаруживать дефекты на поверхностях ИЭТ. К таким дефектам могут относиться трещины, неровности, шероховатости покрытий или другие проблемы, влияющие на качество продукции. Именно поэтому съём изображения с помощью датчиков является частью процессов контроля качества ИЭТ на производстве [3].



АПАК работает следующим образом: датчики изображения делают снимки поверхности изделий, которые затем анализируются с помощью системы КЗ и технологий искусственного интеллекта. АПАК обнаруживает дефекты и классифицирует их на основе изученных закономерностей. Обнаружение дефектов с помощью АПАК позволяет выявлять изделия низкого качества и сообщать о проблемах, с которыми они столкнулись [4].

В качестве датчиков изображения в АПАК в основном используются камеры. Они позволяют АПАК интерпретировать и анализировать полученные визуальные данные. Цель их применения – воспроизвести человеческое зрение, обеспечить анализ сцен и понимание пространственных отношений и распознавания дефектов.

Применение камер в КЗ зародилось во второй половине прошлого века, которое также ознаменовалось развитием искусственного интеллекта и машинного обучения (МО). Одним из самых ранних способов применения камер в КЗ было обнаружение контуров, которое помогало отслеживать границы объектов на изображениях и позволяло распознавать исследуемые объекты [5]. Эта эпоха также ознаменовалась изобретением персептрона – ранней модели искусственной нейронной сети, заложившей основу для современного глубокого МО.

Преимущества применения камер в визуальном обнаружении дефектов изделий

Камеры в АПАК используются для обнаружения дефектов, поскольку обладает рядом преимуществ, которые делают их особенно эффективным в этой области:

- неразрушаемость – позволяет обнаруживать поверхностные и подповерхностные дефекты, не повреждая ИЭТ;
- разнообразие – имеется широкий выбор характеристик для обнаружения конкретных дефектов на поверхности конкретных ИЭТ;
- управляемость – имеется ряд команд, позволяющих управлять съёмом и передачей изображений;
- точность – позволяет точно передавать изображение в АПАК для выявления дефектов;
- стабильность – камеры исключают человеческие ошибки, вызванные усталостью или отвлечением внимания, обеспечивая стабильные и надежные результаты инспекции;
- скорость – камеры могут проверять продукцию на высокой скорости, не отставая от современных производственных линий;
- обнаружение мелких дефектов – камеры высокого разрешения способны обнаруживать мельчайшие дефекты, которые могут быть незаметны человеческому зрению;
- действия в режиме реального времени – на основе анализа полученных от камеры данных АПАК может автоматически предпринимать действия, например, запускать механизм отбраковки для удаления дефектного ИЭТ с линии.

Камеры позволяют обнаруживать широкий спектр дефектов одновременно и передавать в АПАК для обработки и классификации.

Программное обеспечение для обнаружения дефектов отмечает отклонения, запускает механизм отбраковки, снимая продукцию с линии, и отправляет уведомления технологам на производстве. В отличие от инспекторов-людей камеры позволяют собирать и сохранять данные, которые могут информировать производителей о проблемах в производственном процессе, приводящих к появлению дефектов, что позволяет им применять профилактические меры.

Факторы, определяющие применение камер

Согласно данным National Instruments [6] для настройки системы с использованием методов КЗ и обнаружения дефектов на поверхностях ИЭТ необходимо учитывать ряд факторов. К ним относятся:

- 1) Разрешение элемента (PR, показано на рисунке 1 цифрами 1, 8, 7, минимальное количество пикселей, необходимое для представления проверяемого элемента, дефекта б);
- 2) Поле зрения (FOV, область проверяемого объекта, которую камера может охватить на рисунке 1 показано цифрой 2);



- 3) Рабочее расстояние (WD, расстояние от объектива камеры до ИЭТ, на рисунке 1 показано цифрой 3);
4) Размеры сенсора камеры (SZ, на рисунке 1 показано цифрой 4);
5) Глубина резкости (максимальная глубина изображения поверхности изделий, которая остается в фокусе, на рисунке 1 показано цифрой 5).

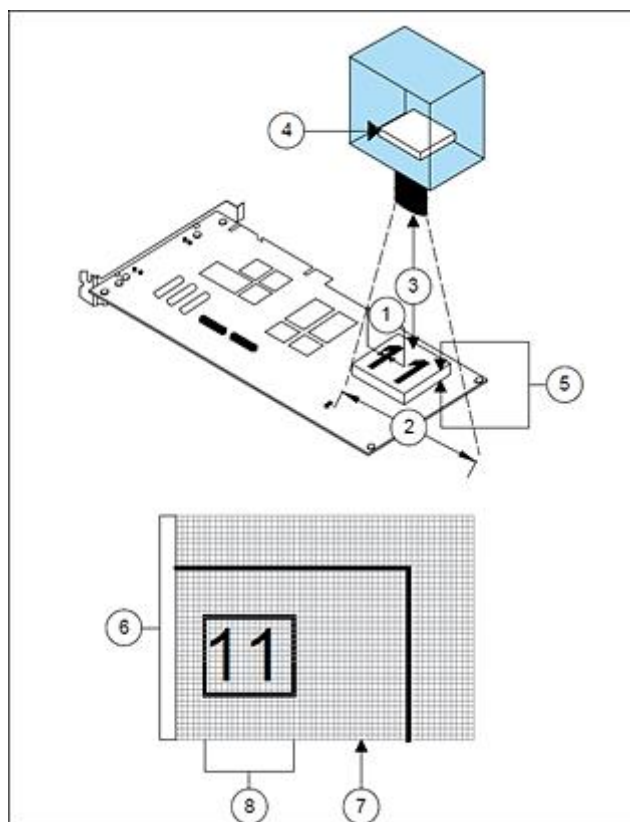


Рис. 1. Факторы, учитываемые при выборе камеры и объектива

Обычными датчиками изображения, используемыми в инспекционных камерах, являются CCD и CMOS, имитирующие человеческое восприятие изображения [7]. Помимо перечисленных выше факторов, при выборе подходящего датчика изображения и его размера учитываются такие критерии, как чувствительность, динамический диапазон, однородность, скорость работы и надежность. Используя поле зрения (FOV), разрешение в пикселях можно получить по формуле (1):

$$PR = 2 \frac{FOV}{Resolution} \quad (1)$$

Фокусное расстояние, которое используется для определения характеристик объектива, можно получить с помощью уравнения (2):

$$FL = \frac{SZ \cdot WD}{FOV} \quad (2)$$

Фокусное расстояние важно для выбора правильного объектива для конкретного применения, как видно из уравнения 2, три фактора, влияющие на выбор правильного фокусного расстояния, – это размер сенсора, рабочее расстояние и поле зрения. Частота кадров также является важным фактором, который следует учитывать при выборе камеры, особенно при пакетном контроле в отраслях с высокой производительностью [8]. Методы пространственной калибровки обычно используются для установки камеры в оптимальное положение для конкретного применения. В большинстве оптических инспекционных приложений положение камеры фиксировано [9] и расположено под углом 90° к плоскости проверяемых компонентов, чтобы избежать искажения изображения и уменьшить ошибки перспективы, как показано на рисунке 1 [6], однако, в некоторых камерах выравниваются под разными углами.

Методы расположения камер и результаты их применения

В дальнейшем обсуждении выделяются разработки АПАК и результаты обнаружения дефектов, в которых использовались нестандартные установки камер.

Для проверки дефектов стеклянной подложки в TFT-LCD-дисплеях камеры устанавливаются в двух различных положениях: на просвет и на отражение. В положении на просвет камера фиксирует проецируемые изображения с помощью света, проходящего через стекло, тогда как в положении отражения она захватывает отраженные изображения от подложек со светом, как показано на рисунке 2 [10].

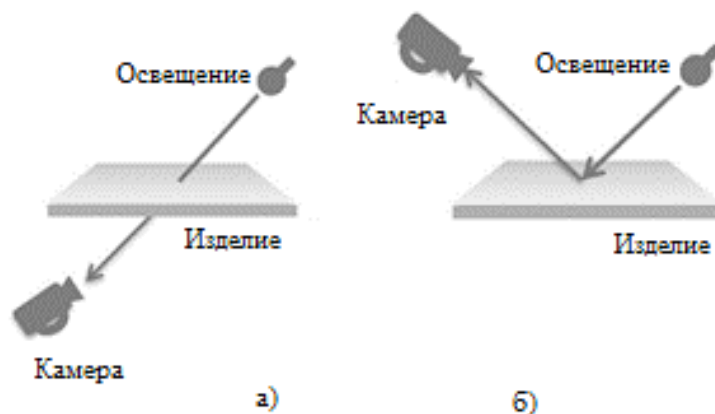


Рис. 2. (а) передача и (б) отражения изображения

Таким образом, при необходимости, в АПАК используется метод просвечивания на основании исследований Юсефян-Джази и др [10].

Аналогичные методы рассматриваются при проверке сильно отражающих поверхностей, в которых должны применяться определенные геометрические законы для измерения оптимальных длин и углов камеры и настроек освещения [11]. Онг и др. в [12] предложили двойной угол обзора для получения изображений паяных соединений для проверки дефектов. Их подход состоял из обычных ортогональных и наклонных установок камеры, как показано на рисунке 3. Установка настроена с наклонным направлением обзора 40° с помощью пирамидального зеркала. Такая установка камер обеспечивает лучшую геометрическую информацию о дефектах и может сэкономить шаг извлечения признаков, отправляя полученные изображения непосредственно на классификацию.

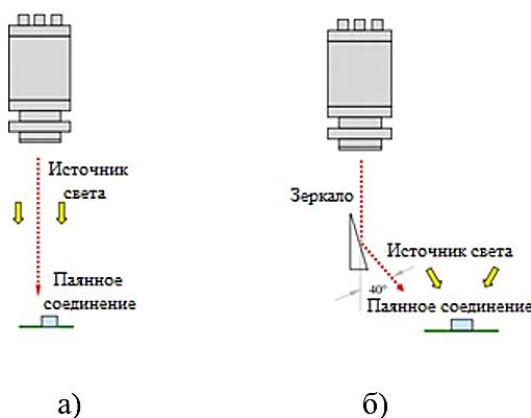


Рис. 3. Установки камеры

а) ортогональное размещение камеры

б) под углом 40°

При этом, такая процедура настройки трудоемка и подвержена человеческим ошибкам. Ли и др [13] предложили установку для определения высоты шариков припоя на этапах монтажа микросхем в корпусах типа BGA. Они использовали систему стереозрения для



захвата трехмерной природы шарика припоя с помощью двух камер, расположенных на двух противоположных углах, и двух кольцевых источников света вокруг каждой линзы камеры, которые параллельно захватывают два 2D-изображения, как показано на рисунке 4.

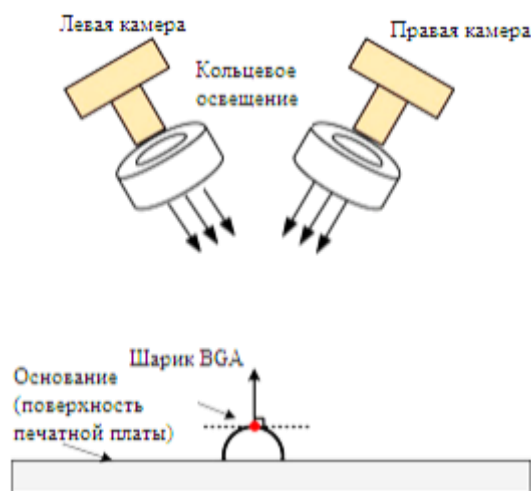


Рис. 4. Настройка системы визуализации

Из-за отражающей природы шариков припоя освещение обеспечивает возможность создания особенностей на шариках, которые затем используются для определения высоты. Эти особенности отображаются в виде ярких областей на полученных изображениях. Такой метод получения изображения сокращает время для процесса извлечения признаков дефектов, так как сегментация и пороговая обработка достаточны для определения особенностей компонента.

Чжао и др [14] также предложили аналогичную систему стереозрения, использующую две камеры для проверки контактов на многотипных электрических разъемах компонентов.

Поскольку каждый пленочный конденсатор имеет шесть поверхностей, подлежащих обнаружению, Янг и др. в работе [15] использовали четыре системы получения изображений, настроенные на обнаружение дефектов поверхности конденсаторов. Каждая камера получает информацию о двух поверхностях под боковым углом, как показано на рисунке 5.

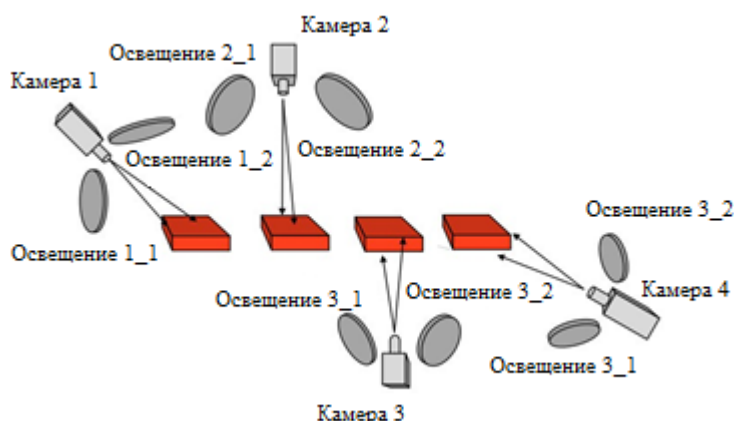


Рис. 5. Настройка системы визуализации

Когда конденсатор достигает заданного положения, лазерная трубка нумерует конденсатор и выдает сигнал запуска. Промышленная камера получает изображение поверхности этого конденсатора и алгоритмы оптического контроля применяются для обнаружения дефектов поверхности в режиме реального времени.

Парк и Квеон [16] также предложили системы получения изображений, которые состояли из различных комбинаций камер и светодиодных источников с различными углами ориентации для проверки дефектов ИЭТ, как показано на рисунке 6.





Рис. 6. Система визуализации

Несколько вариантов получения изображений с различными углами ориентации используются для обнаружения дефектов на поверхности одного и того же ИЭТ несколько раз таким образом, чтобы дефекты были обнаружены хотя бы на одном из четырёх изображений. Затем четыре изображения сравниваются друг с другом с помощью фильтрации изображений, чтобы выбрать изображение, наилучшим образом описывающее дефекты, к которому можно применить алгоритмы извлечения и классификации признаков.

Заключение

Таким образом, существуют различия между решениями в установке камер, большинство из которых используют определённую конструкцию, схему для их настройки и улучшения результатов с течением времени.

При этом определены следующие этапы с точки зрения установки камер:

1) Извлечение признаков: сначала производитель предоставляет программному обеспечению шаблон для проверки на наличие дефектов. Часто он представляет собой изображение с выделенными определёнными факторами, чтобы при появлении аномалий они были помечены как дефекты. На этом этапе определяются требования к камере.

2) Обучение модели: на этапе МО передают программе маркированные изображения для углубления её знаний о шаблоне. Изображения классифицируются как годные или бракованные в зависимости от наличия определённого дефекта. На этом этапе уточняются требования к камере.

3) Тестирование: После тщательных испытаний и частых исправлений, обеспечивающих точность обнаружения дефектов, решение готово к работе без постоянного контроля со стороны человека. На этом этапе подтверждаются требования к камере.

Поскольку камеры позволяют АПАК быстро каталогизировать закономерности в дефектах, что даёт преимущество перед инспекторами-людьми, можно установить первопричины дефектов. Применяя производственную аналитику в режиме реального времени, АПАК может точно отметить, какие дефекты были браком (например, микробрызги стекла при изготовлении металлостеклянных корпусов, дефект устраняется протиркой поверхности), а также отметить, когда и как часто возникает дефект, что позволяет технологам определить первопричины и устранить их.

Несмотря на стремительное развитие технологий, существуют факторы, которые делают применение камер отличным выбором для одних задач контроля качества, но не для других. Решения АПАК, используемые с высокоскоростными камерами, могут проверять несколько ИЭТ в секунду, если ищут определённые дефекты, но АПАК может испытывать трудности с обнаружением непредвиденных аномалий, таких как изменение внешнего вида элемента ИЭТ из-за загрязнения, ориентации или окклюзии. Например, на предприятии по производству микросхем, АПАК для пластины на пятаках с разделёнными кристаллами оценивает качество каждого кристалла, сообщая информацию (передавая таблицу годности) технологическому оборудованию по каждому кристаллу для дальнейшего применения их в производстве. Это решение даёт высокий эффект. Но проверка наличия трещин в магнитных сердечниках катушки индуктивности требует значительных усилий в поиске нужных параметров камер, извлечении признаков дефектов, МО и тестировании.



Список литературы:

1. Дормидошина Д. А., Рубцов Ю.В. Искусственный интеллект в визуальной проверке качества изделий: технологические и экономические аспекты // Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения. 2025. №2. Стр. 6-12.
2. Дормидошина Д. А. Ключевые преимущества компьютерного зрения в промышленности // Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения. 2025. №3. Стр. 13-17.
3. Дормидошина Д. А., Евстифеев Ю. А., Рубцов Ю.В. Разработка и внедрение АПАК для поиска дефектов изделий микроэлектроники с помощью искусственного интеллекта – Часть 1. Технические средства настройки изображений для обнаружения дефектов в видимом диапазоне // Электронные компоненты. 2025. №2. Стр. 48-55.
4. Дормидошина Д. А., Евстифеев Ю. А., Рубцов Ю.В. Разработка и внедрение АПАК для поиска дефектов изделий микроэлектроники с помощью искусственного интеллекта – Часть 2. Измерение обнаруженных дефектов в видимом диапазоне // Электронные компоненты. 2025. №3. Стр. 16-21.
5. Дормидошина Д. А. Роль технологического менеджмента в решении задач внедрения систем автоматизированного оптического контроля качества изделий электронной техники // Вестник Екатеринбургского института. 2025. №1. Стр. 31-38.
6. IMAQ Vision Concepts Manual Number 322916A-01, Nat. Instrum., Austin, TX, USA, 2000.
7. S. Shirmohammadi and A. Ferrero Camera as the instrument: The rising trend of vision based measurement // IEEE Instrum. Meas. Mag., 2014. vol. 17, no. 3, pp. 41–47.
8. C. Vedang, F. Heshan, and S. Brian Effect of illumination techniques on machine vision inspection for automated assembly machines // in Proc. Can. Soc. Mech. Eng. Int. Congr., Toronto, ON, Canada, Jun. 2014. pp. 1–6.
9. E. N. Malamas, E. G. M. Petrakis, M. Zervakis, L. Petit, and J.-D. Legat A survey on industrial vision systems, applications and tools // Image Vis. Comput. 2003. vol. 21, no. 2, pp. 171–188.
10. A. Yousefian-Jazi, J.-H. Ryu, S. Yoon, and J. J. Liu Decision support in machine vision system for monitoring of TFT-LCD glass substrates manufacturing // J. Process Control. 2014. vol. 24, no. 6, pp. 1015–1023.
11. G. Rosati, G. Boschetti, A. Biondi, and A. Rossi Real-time defect detection on highly reflective curved surfaces // Opt. Lasers Eng. 2009. vol. 47, nos. 3–4, pp. 379–384.
12. T. Y. Ong, Z. Samad, and M. M. Ratnam Solder joint inspection with multiangle imaging and an artificial neural network // Int. J. Adv. Manuf. Technol. 2008. vol. 38, nos. 5–6, pp. 455–462.
13. J. Li, B. L. Bennett, L. J. Karam, and J. S. Pettinato Stereo vision based automated solder ball height and substrate coplanarity inspection // IEEE Trans. Autom. Sci. Eng. 2016. vol. 13, no. 2, pp. 757–771.
14. D. Zhao, F. Kong, and F. Du Vision-based adaptive stereo measurement of pins on multitype electrical connectors // Meas. Sci. Technol. 2019. vol. 30, no. 10, Art. no. 105002.
15. Y. Yang, Z.-J. Zha, M. Gao, and Z. He A robust vision inspection system for detecting surface defects of film capacitors // Signal Process. 2016. vol. 124, pp. 54–62.
16. Y. Park and I. S. Kweon Ambiguous surface defect image classification of AMOLED displays in smartphones // IEEE Trans. Ind. Informat. 2016. vol. 12, no. 2, pp. 597–607.

