

# СИСТЕМЫ РЕНТГЕН-КОНТРОЛЯ: ВИДЫ И ВОЗМОЖНОСТИ

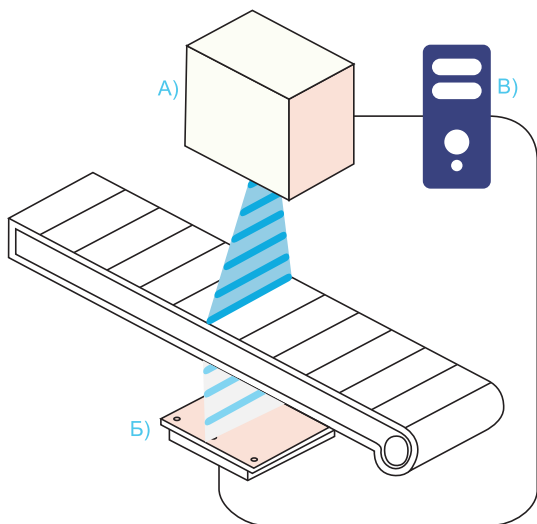
ПЕРЕВОД: НИКОЛАЙ БОЙПРАВ

Рентген-детекторы используются на производстве главным образом для выявления посторонних предметов и составляющих в пищевых продуктах или фармацевтических изделиях независимо от материала и формы их упаковки. Такие решения могут устанавливаться в любой точке технологического процесса, но лучше всего размещать их в конце производственной линии. На этом этапе можно одновременно контролировать целостность упаковки и выявлять продукты, не соответствующие требуемому стандарту. В статье описаны различия между двумя доступными технологиями рентген-контроля, а также факторы, которые необходимо учитывать при выборе решений.

## ОСНОВЫ РЕНТГЕНОВСКИХ СИСТЕМ

По своей сути рентгеновская система — это сканирующее устройство. В его основе лежит генератор рентгеновских лучей, который проецирует их на датчик или детектор. Интенсивность попадания рентгеновских лучей в конкретную точку выражается уровнями серого цвета на полученном снимке: от черного, если рентгеновские лучи не обнаруживаются, до белого, если все лучи обнаруживаются. Когда продукт проходит через устройство, он сканируется рентгеновской энергией, а детектор производит изображение продукта в сером цвете. Специальное

**РИС. 1.** ▼  
Устройство систем  
рентген-инспекции



программное обеспечение системы анализирует полученное изображение и сравнивает его с заранее заданным эталоном. На основании такого сравнения происходит либо одобрение продукта, либо фиксация брака. В последнем случае в систему автоматической отбраковки поступает соответствующий сигнал, и продукт удаляется с линии.

Три компонента систем рентгеновского инспектирования (рис. 1):

- генератор рентгеновского излучения (А);
- детектор (Б);
- компьютер (В).

Генерация рентгеновского излучения происходит в рентгеновской трубке, заключенной внутри генератора (А). Из генератора излучение прямым потоком проходит через коллиматор (устройство для сужения луча в меньший веерообразный пучок). Суженный луч проникает проверяемый продукт или упаковку и достигает детектора (Б). В детекторе энергия луча преобразуется в электрический сигнал, который поступает на компьютер (В). Компьютер обрабатывает этот сигнал и на его основании создает изображение в градациях серого цвета. Изображение анализируется, и выполняется проверка, соответствует ли продукт заданным критериям, либо же необходимо осуществить отбраковку.

Детектор улавливает рентгеновские волны, как камера свет. Создаваемое затем изображение может быть

обработано для фиксации подробной информации о проверяемом продукте. В сочетании с программным обеспечением для анализа изображений детектор обеспечивает большую точность обнаружения посторонних включений, таких, например, как фрагменты костей в птице или резина в макаронах, картофеля фри и других продуктах.

Получаемые изображения разделяют на мельчайшие фрагменты — точки (пиксели). Они генерируются на основе измерения интенсивности рентгеновских лучей, достигающих детектора (рис. 2).

Когда упакованный продукт проходит над детектором, построено его изображение. Каждая строка содержит ряд пикселей, которые сопоставляются с предыдущими строками. Так строка за строкой возникает полное изображение продукта. Затем программное обеспечение системы рентгеновского контроля анализирует изображение и сравнивает его с заранее установленным стандартом годности. На основе этого сравнения образ либо принимается системой, либо фиксируется брак.

Главная задача систем рентгеновского контроля — провести правильную идентификацию отклонений и выявить посторонние включения, которые могут сливаться с фоном продукта. Это особенно актуально, если продукт изготавливается сложной формы или накладывается друг

на друга в упаковке, что приводит к неравномерной плотности цветов на рентгеновском снимке. В таких случаях качество изображения ухудшается, и идентификация отклонений усложняется.

### ВЫБОР ПРАВИЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЕТЕКТОРА

Существует два типа технологий рентгеновских детекторов, используемых для контроля упакованных пищевых продуктов и фармацевтических препаратов: однолучевая и двухлучевая. Двухлучевая в свою очередь бывает стандартная и модифицированная. Каждая из технологий предназначена для решения определенных задач.

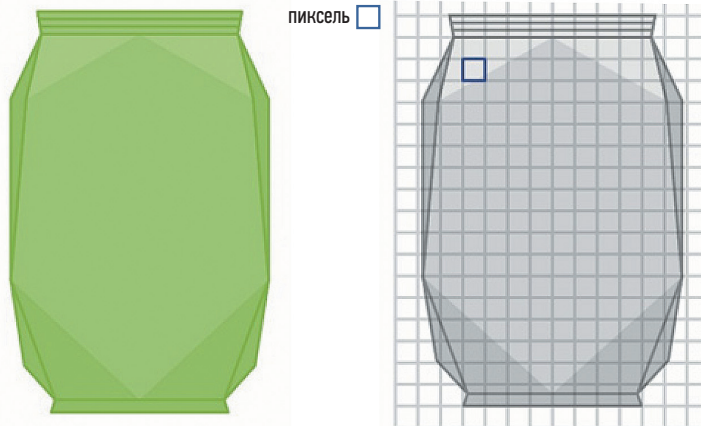
#### Преимущества однолучевой технологии

Однолучевая технология эффективна при обнаружении посторонних предметов, которые имеют более высокий коэффициент поглощения рентгеновского излучения, чем у окружающего их продукта (например, металл в готовых блюдах). Также данные детекторы хорошо работают на высокоскоростных линиях.

Детекторы, построенные по однолучевой технологии, подходят для большинства задач контроля и широко используются во многих областях. Например, их применяют для контроля однородных по плотности продуктов, когда предполагаемые инородные частицы плотнее и/или имеют больший размер. Чем выше плотность материала (металл, стекло), тем четче они будут проявляться через текстуру продукта и его легче будет обнаружить. Материалы с более низкой плотностью, такие как алюминий или низкоминеральное стекло, можно выявить при условии однородной плотности продукта.

Проблема возникает, когда в сложных или неоднородных по составу продуктах (например, птица, картофельные чипсы или макаронные изделия) необходимо улавливать небольшие по размерам посторонние предметы со схожей или меньшей плотностью. На полученных рентгеновских снимках появляются специфические текстуры, способные скрывать инородные тела.

Например, обнаружение тонких костей в филе птицы, небольших кусочков резины в картофеле фри или



**РИС. 2.** ◀ Продукт, который сканируется с помощью рентгеновских лучей, и его сгенерированное изображение

макаронных изделиях чрезвычайно сложно для однолучевых детекторов. Еще один материал, который плохо поддается выявлению, — алюминий.

#### Преимущества двухлучевой технологии

Двухлучевая технология была разработана в 2000-х годах, она дала мощный скачок в возможностях детекторов рентгеновского излучения, повысив функциональность устройств рентгеновского контроля. В них используется сразу два луча с разными уровнями, а также работающих под разными углами. Это повышает точность оборудования и дает гораздо больше информации о продукте внутри упаковки. С такими системами стало возможным работать с разнородными материалами (в центре и справа на рис. 3).

Рентгеновские системы двухлучевого типа не основываются только на разнице плотностей продукта и посторонних предметов, их возможности гораздо шире. Они могут распознавать загрязнения в смешанных продуктах с неоднородным составом, выявлять небольшие частицы с низкой плотностью (хрящи и тонкие кости, маломинеральное стекло).

Надежное обнаружение посторонних включений упростилось, стало возможным работать в условиях, где однолучевая технология малоэффективна (например, в случаях, когда продукт в упаковке различается по толщине: неразделанное мясо, пачки макарон или мешки картошки). Единственное ограничение — в быстродействии, подходит для операций с более низкой скоростью

производственной линии по сравнению с однолучевой технологией.

Поскольку использование двухлучевых детекторов в значительной степени устраняет шумы от продукта на снимке при обнаружении загрязняющих веществ, их основное применение происходит в ситуациях, когда сам продукт мешает корректной работе устройства. То есть следует рассматривать двухлучевую технологию тогда, когда продукт отображается на сгенерированном изображении в цвете, близком к уровню фона. Это может произойти в двух случаях:

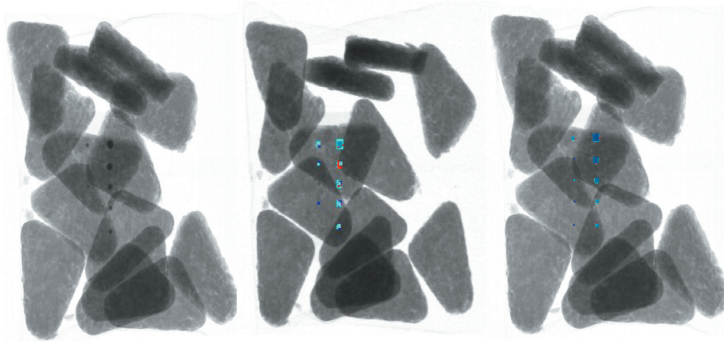
1. Сложные или перекрывающиеся продукты.

В этой ситуации продукт может казаться либо светлым (менее плотным), либо темным (более плотным) в зависимости от того, какая часть изображения наблюдается. Это приводит к появлению текстур на рентгеновском снимке, особенно если отдельные части продукта перекрываются друг с другом. В качестве примера приведем снимки пачки картофельных оладий с примесями алюминиевой фольги (рис. 3). Когда части продукта в упаковке накладываются одна на другую, они могут выглядеть слишком темными, что приводит к высоким погрешностям при идентификации. Кроме того, алюминий имеет относительно низкое поглощение для металла, поэтому небольшие его кусочки могут остаться незамеченными в большом пакете.

Полученные снимки выглядят одинаково, однако двухлучевые детекторы компенсируют слияние цветов и нейтрализуют шумы от продукта. Это позволяет выявить больше примесей

РИС. 3. ►

Изображение пачки картофельных оладий с примесью алюминиевой фольги. Слева: однолучевые детекторы; в центре: стандартная двулучевая технология; справа: модифицированная двулучевая технология



в окончательном изображении и быть гораздо точнее, нежели однолучевые устройства.

2. Отображение материалов низкой плотности.

Когда посторонний предмет имеет низкую плотность, он может быть скрыт на фоне продукта. Хороший пример этого — обнаружение костей в упакованном мясе. На рис. 4 слева показан однолучевой снимок фрагментов костей курицы, а в центре и справа — снимки детекторов со стандартной и модифицированной двулучевой технологии.

Даже при отображении однородного продукта серый цвет на полученном изображении представлен несколькими оттенками. Когда имеются посторонние предметы с низкой плотностью, они не поглощают достаточного количества рентгеновских лучей, чтобы контрастировать на фоне продукта, даже при отсутствии наложения.

Поскольку двулучевая технология очень эффективна при идентификации различных материалов, она лучше определяет посторонние включения, даже если они имеют такую же плотность, что и продукт. Однолучевые приборы выявляют только различия в плотности.

Двулучевые детекторы разрабатывались для решения практических

задач, похожих на рассмотренные выше. Но не во всех случаях однолучевая технология уступает в качестве выявления посторонних загрязнений. Например, при поиске стальных частиц в пакете крупы (где зерна многократно накладываются друг на друга в полученном снимке) двулучевая технология не всегда имеет значительные преимущества.

Производители или переработчики могут использовать детекторы рентгеновского излучения, оснащенные усовершенствованной двойной энергией, как в одно-, так и в многополосных линиях и на критических контрольных точках (ККТ). Эти ККТ также могут быть объединены в сеть, чтобы обеспечить полную оптимизацию процесса и более глубокий анализ эффективности.

В настоящее время существует два типа двулучевой технологии, и, хотя они используют одни и те же фундаментальные концепции, описанные выше, способы достижения результатов у них существенно различаются.

Стандартная двулучевая технология основана на существующей рентгеновской технологии и способна работать в тех же условиях, что и устройства, построенные на базе однолучевых детекторов.

Детектор стандартной двулучевой технологии обеспечивает значитель-

но лучшие результаты при поиске инородных частиц с низкой плотностью в наполненной упаковке многокомпонентных продуктов. Опытным путем установлено, что в полукилограммовых пакетах двулучевые устройства способны зафиксировать резиновые включения толщиной всего 5 мм, в то время как чувствительность однолучевых аналогов всего 8 мм.

Модернизированная двулучевая технология — это передовое достижение в технологии контроля. С ее помощью можно собирать подробные данные о проверяемом продукте. Она позволяет создавать более четкие снимки с гораздо большим детализированием и высоким разрешением. Анализ рентгеновских снимков также осуществляется с помощью усовершенствованного программного обеспечения, что приводит к повышению эффективности сканирования.

Модернизированный двулучевой детектор достигает самых высоких уровней обнаружения. В недавних тестах со скоростью линии 35 м/мин модернизированный двулучевой детектор достиг 100% обнаружения поперечной кости толщиной 2 мм в упакованной тушке цыпленка. В таких условиях однолучевой детектор ничего не смог выявить (результат — 0%).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как было выяснено, правильный выбор зависит от многих факторов, практического применения и материала предполагаемого источника загрязнения. Следует принять во внимание, из чего сделана упаковка и какова скорость у производственной линии.

Рентген-инспекторы можно успешно применять в качестве решения для контроля, но окончательный выбор «правильного» детектора должен зависеть от технических условий производства. Оба типа двулучевых детекторов обеспечивают улучшенное выявление посторонних предметов в ряде предприятий, где обнаружение затруднено шумом от накладываемых частей продукта и/или низкой плотностью загрязняющих веществ. Стандартный двулучевой детектор обеспечивает выявление посторонних предметов на всем диапазоне параметров применения. Модернизированная двулучевая технология позволяет осуществлять высококачественный и надежный контроль продукта даже в самых сложных условиях работы. ●

РИС. 4. ►

Кусок куриного филе с костями. Слева: однолучевые детекторы; в центре: стандартная двулучевая технология; справа: модифицированная двулучевая технология

