

На правах рукописи



ДОРЕНСКИЙ АЛЕКСЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ

КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ МЕТОД И ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЕ СРЕДСТВО
КОНТРОЛЯ ДЕФЕКТОВ ПОВЕРХНОСТЕЙ ИЗДЕЛИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
РЕЦЕПТИВНЫХ ПОЛЕЙ

Специальность: 05.11.13 — Приборы и методы контроля природной среды,
веществ, материалов и изделий

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Барнаул — 2010г.

Работа выполнена в Алтайском государственном техническом университете им. И.И.Ползунова.

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Пронин Сергей Петрович
АлтГТУ им. И.И.Ползунова.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
Еськов Александр Васильевич

кандидат физико-математических наук,
Иордан Владимир Иванович

Ведущая организация: Национальный исследовательский Томский
политехнический университет.

Защита состоится 28 декабря 2010 г. в 11-30 часов на заседании диссертационного совета Д 212.004.06 в Алтайском государственном техническом университете им. И.И.Ползунова по адресу: 656038, г.Барнаул, пр.Ленина, 46.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Алтайского государственного технического университета им. И.И.Ползунова.

Автореферат разослан 26 ноября 2010 г. Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью, просим направлять по адресу университета: 656038, г.Барнаул, пр.Ленина, 46.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Кривобоков Д.Е.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В промышленности существует множество поточных производств, где остро стоит вопрос автоматизированного контроля дефектов поверхностей изделий. В частности, такой задачей является контроль качества окрашенной пластиковой бутылки по дефектам ее поверхности, которые выражены в изменении оптической плотности материала изделия. Пропуск дефектов приводит к остановкам конвейерной линии, простоям и, как следствие, износу механизмов привода конвейера. Поэтому контроль дефектов поверхностей является актуальной задачей.

Большую долю в решении задач контроля качества изделий на конвейерных линиях составляют оптические методы. На достоверность контроля дефектов поверхности окрашенной пластиковой бутылки существенное влияние оказывают три фактора: объемная структура изделия, высокая оптическая плотность материала и высокая скорость движения изделия на конвейере.

Наличие первого фактора требует обязательного применения проходящего через изделие светового потока. На сегодняшний день существуют зарубежные аналоги средств контроля качества поверхностей, выполненных на оптопаре, в которых используется прямой и обратный ход параллельных пучков света. Оптический сигнал в этом случае несет интегральную информацию о качестве поверхности. Однородные и неоднородные с дефектами поверхности могут давать одинаковые оптические сигналы, что ведет к снижению достоверности контроля. В рассматриваемом аспекте контроля целесообразнее применять однократное прохождение светового пучка через изделие и фиксировать его изображение многоэлементным фотоприемником.

Однако наличие второго фактора – высокой оптической плотности у изделия, приводит к значительной разности между яркостью фона и яркостью поверхности изделия. Динамический диапазон оптического сигнала на изображении поверхности изделия уменьшается, уменьшается соотношение сигнал/шум, и, как следствие, уменьшается достоверность контроля. Повышение соотношения сигнал/шум возможно с применением метода накопления кадров, но в этой ситуации начинает отрицательно влиять третий фактор. За счет движения изделия происходит смаз изображения.

Оптимальными при обнаружении сигналов на уровне шумов, считаются приемники взаимно-корреляционного типа, а также приборы на основе корреляционных методов работы. Их развитию посвящено много работ (Якушенков Ю.Г., Чапенко М.П., Грибонова Н.И., Ланге Ф и др.), при этом корреляция сигналов производится либо во времени, либо по пространству. Однако оба варианта имеют свои недостатки. В частности при переменной скорости движения контролируемых изделий невозможно выполнить корреляцию сигналов во времени, без предварительного масштабирования. При корреляции в пространстве возникают проблемы зашумления слабого сигнала при получении единственного кадра видеокамеры.

Альтернативным вариантом корреляционного метода видится использование корреляции гистограмм яркости, полученных в ходе сканирования изделий, во время их движения на конвейере. При этом сканирование осуществляется несколькими линейными многоэлементными фотоприемниками. Множество фоточувствительных элементов (ФЧЭ) одного линейного фотоприемника можно объединить в одно рецептивное поле (РП). Все ФЧЭ рецептивного поля будут производить одновременное измерение оптического сигнала с изображения фрагмента поверхности изделия. Эта операция равносильна пространственной фильтрации, за счет чего достигается уменьшение пространственного шума. Для построения гистограммы, уровни квантования по яркости разбиты на несколько интервалов. Группа уровней яркости, которые входят в один интервал также как и ФЧЭ, которые входят в линейный фотоприемник, могут быть объединены в рецептивное поле интервала яркости, за счет чего будет достигнуто уменьшение яркостного шума.

Цель работы. Разработка корреляционного метода и оптико-электронного средства контроля дефектов окрашенной пластиковой бутылки с использованием рецептивных полей.

Задачи исследований:

1. Выполнить аналитический обзор методов и средств оптического контроля дефектов пластиковой бутылки, рассмотреть качество пластиковой бутылки, типичные дефекты. Предложить классификацию средств оптического контроля качества изделий.
2. Разработать метод построения гистограммы яркости с использованием рецептивных полей.
3. Разработать метод контроля дефектов изделий по коэффициенту корреляции их гистограмм.
4. Разработать принцип построения оптико-электронной системы прибора контроля дефектов пластиковой бутылки, макет прибора контроля. Провести экспериментальные исследования макета прибора контроля.

Объект исследования. Процесс контроля дефектов изделия с использованием рецептивных полей.

Предмет исследования. Корреляционный метод и средство контроля дефектов поверхностей изделий с использованием рецептивных полей.

Методы исследования. В диссертационной работе использованы методы геометрической оптики, цифровой обработки сигналов, математического моделирования, математической статистики, а также обработки экспериментальных данных.

Достоверность полученных результатов подтверждается математическим моделированием режимов работы прибора контроля, численными экспериментами, корректностью постановки цели и задач исследования, метрологическими испытаниями макета прибора контроля.

На защиту выносятся результаты:

1. Метод построения гистограммы яркости с использованием рецептивных полей.

2. Метод контроля дефектов изделий по коэффициенту корреляции гистограмм.

3. Принцип построения оптико-электронной системы прибора контроля дефектов пластиковой бутылки и оптико-электронный прибор контроля дефектов по коэффициенту корреляции гистограмм с использованием рецептивных полей.

Научная новизна диссертационной работы состоит в следующем.

1. Разработан метод построения гистограммы яркости изделия с использованием рецептивных полей, который осуществляет двойное преобразование сигнала, как по пространству, так и по яркости; не требует точного выбора количества интервалов разбиения гистограммы за счет перекрывающихся рецептивных полей.

2. Разработан метод контроля дефектов изделий по коэффициенту корреляции их гистограмм, который обеспечивает высокую достоверность контроля качества изделий и высокое быстродействие.

3. Разработан принцип построения оптико-электронной системы корреляционного прибора контроля дефектов окрашенной пластиковой бутылки на основе ряда линейных фотоприемников с множеством фоточувствительных элементов, который обеспечивает уменьшение шума за счет суммирования оптического сигнала с множества фоточувствительных элементов; увеличение чувствительности к дефектам заданного размера, за счет введения соразмерных дефекту рецептивных полей; расширение диапазона размеров контролируемых дефектов за счет перекрытия рецептивных полей.

Практическая полезность работы состоит в возможности применения полученных результатов в различных отраслях промышленности, где требуется оптический контроль дефектов изделий с высокой оптической плотностью, движущихся на конвейере, а также в возможности создания более эффективных приборов оптического контроля качества изделий.

Реализация результатов. Научные результаты диссертационной работы внедрены на: ОАО “Барнаульский пивоваренный завод” для контроля дефектов и сплошного контроля качества окрашенной пластиковой бутылки на конвейерной линии; ООО “Фрактальная оптика” с целью коммерциализации приборов оптического контроля качества окрашенной пластиковой бутылки.

Апробация работы. Материалы диссертации докладывались на: 15-й Всероссийской межвузовской научно-технической конференции студентов и аспирантов “ Микроэлектроника и информатика – 2008” (г.Москва); международной научно-практической конференции “Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности – 2008, 2009” (г. Санкт-Петербург); XIV-й Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные техника и технологии - 2008» (г.Томск); международной научно-технической конференции “Виртуальные и интеллектуальные системы – 2006, 2007, 2008, 2009” (г.Барнаул); одиннадцатой международной научно-технической конференции “Измерение, контроль, информатизация - 2010” (г.Барнаул), Всероссийском конкурсе “Ползуновские гранты - 2009”; Всероссийском инновационном форуме “Селигер-2010” (победитель)

конкурса “У.М.Н.И.К. на СТАРТ - 2010”, проводимого фондом содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере).

Работа выполнена в рамках исследований по программе У.М.Н.И.К. (дог. №13/нр от «10» декабря 2008г., дог. №24/нр от 20.04.2010г., ООО "АлтайИнновация").

Публикации. По теме диссертации опубликовано 12 работ, из них 7 статей, 3 из которых в журналах по Перечню ВАК, 5 докладов опубликованных в материалах всероссийских и международных конференций.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников из 152 наименований. Общий объем работы составляет 112 страниц машинописного текста, содержит 4 таблицы, 25 рисунков.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность проводимых исследований, сформулированы цели и задачи работы, показан объект и предмет исследований, обоснована достоверность полученных результатов, определены научная новизна и практическая ценность результатов, представлена структура диссертационной работы, основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе выполнен аналитический обзор методов и средств контроля качества пластиковой бутылки. Рассмотрено качество пластиковой бутылки, типичные дефекты. Предложена классификация средств оптического контроля качества изделий по сложности технической и физической частей. Предложен принцип построения приборов оптического контроля, который состоит в том, что применяется оптико-электронная система (ОЭС) сканирующего типа. Сканирование организовано за счет технологического движения конвейера, в приборе вычисляется и сохраняется плотность вероятности распределения яркости по поверхности объекта контроля, получаемая в ходе сканирования изделия. Установлено, что значительную трудность в настоящее время представляет то обстоятельство, что инженеру предоставлена полная свобода выбора методов контроля дефектов, что делает необходимым совершенствование методов и средств оптического контроля дефектов пластиковой бутылки. На основе анализа приборов и методов контроля дефектов пластиковой бутылки сформулированы цель и задачи диссертационных исследований.

Во второй главе разрабатывается метод построения гистограмм яркости с использованием рецептивных полей (РП), а также метод контроля дефектов окрашенных пластиковых бутылок по коэффициенту корреляции их гистограмм.

На рис.1. показана структурная схема разложения сигнала в гистограмму яркости с использованием РП. На рисунке введены следующие обозначения: 1, 2 – линейные фотоприемники; 3, 3' – сумматор; 4, 4' – нелинейный элемент; 5, 5' – интегратор с постоянной времени τ . Всего m линейных фотоприемников.

Каждый ФЧЭ в линейном фотоприемнике имеет собственный весовой коэффициент ω . Множество $M=a_0|\omega_0+a_1|\omega_1+\dots+a_R|\omega_R$ из R пар $a_i|\omega_i$ составляет рецептивное поле данного линейного фотоприемника, где a_i – выходной сигнал ФЧЭ, пропорциональный яркости оптического сигнала.

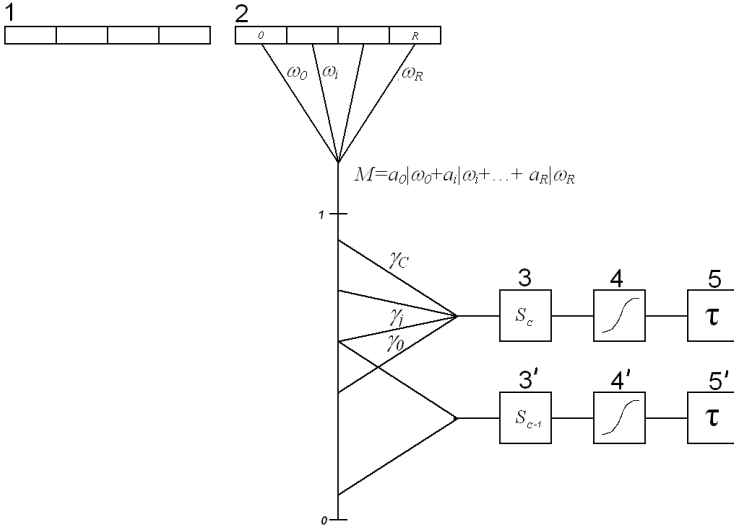


Рис. 1. Структурная схема РП для разложения оптического сигнала в гистограмму яркости

Коэффициенты ω рецептивного поля линейного фотоприемника выбраны таким образом, что табулируют биполярную сигмоидальную функцию (1):

$$F_j(\omega) = \left(\frac{1}{1 + e^{-\beta\omega}} - 0.5 \right) 2, \quad (1)$$

Благодаря этому, при засветке с одинаковой яркостью всех ФЧЭ одного линейного фотоприемника, их суммарный вклад в гистограмму яркости будет нулевым. Таким образом, какой либо вклад в гистограмму яркости от рецептивного поля линейного фотоприемника возможен только тогда, когда его ФЧЭ засвечены с неодинаковой яркостью. Как правило, только идеальные поверхности абсолютно однородны, при этом реальная поверхность изделия в той или иной степени содержит пространственные неоднородности, что приводит к построению той или иной гистограммы яркости. Совокупность всех весовых коэффициентов названа функцией рецептивного поля.

Рецептивному полю фотоприемника в пространстве изображений соответствует некоторая область объекта контроля в пространстве предметов. Геометрический размер данной области выбран сообразно размеру контролируемой неоднородности или дефекту. Этим обеспечивается увеличение чувствительности средства контроля к дефектам заданного размера. В случае, если необходимо контролировать некоторый диапазон размеров дефектов, то данные области необходимо перекрыть между собой с некоторым коэффициентом перекрытия η .

Как известно, гистограмма яркости является интервальной оценкой плотности вероятности статистического распределения, поэтому для ее вычисления требуется разбить весь диапазон значений яркости на несколько интервалов (например k интервалов: $B_0, \dots, B_k$). При этом рассчитывается частота попадания значения сигнала в данные интервалы за время сканирования всего изделия. Принято при попадании яркости в некоторый интервал увеличивать частоту попаданий в данный интервал на единицу.

В нашем случае каждый ФЧЭ в рецептивном поле линейного фотоприемника имеет свой коэффициент ω , который в свою очередь и задает величину прибавки, на которую частота попаданий сигнала в данный интервал увеличивает свое значение.

Кроме того, для каждого значения яркости внутри одного интервала B_k задан свой весовой коэффициент γ_c . При этом частота попаданий сигнала в данный интервал яркости рассчитывается как сумма произведений $\omega_i \gamma_i$ для всех ФЧЭ линейного фотоприемника, если их яркости входят в данный интервал яркости $a_i \in B_c$:

$$S_c = \sum_{j=0}^R \omega_j \gamma_j \Big|_{a_j \in B_c} . \quad (2)$$

Совокупность весовых коэффициентов $\gamma_0, \dots, \gamma_p, \dots, \gamma_c$ названа функцией рецептивного поля интервала яркости и также табулирует биполярную сигмоидальную функцию. Благодаря этому, при засветке фоточувствительных элементов линейного фотоприемника статистически равномерно-пёстрым сигналом – вклад в гистограмму яркости также окажется нулевым, как и в случае, когда засветка была пространственно однородной.

Таким образом, разработанный метод построения гистограммы осуществляет двойное преобразование сигнала, как по пространству, так и по яркости.

Элемент гистограммы $G_{c,m}$ вычисляется за время, задаваемое постоянной интегрирования τ как:

$$G_{c,m} = \int_{\tau} F_{\sigma}(S_c) , \quad (3)$$

где F_{σ} - нелинейная функция; m - номер линейного фотоприемника, c - номер интервала яркости.

Для вычисления меры близости двух гистограмм предложено использовать коэффициент корреляции, который через энергетические соотношения гистограмм запишется как:

$$C(G_1, G_2) = \frac{b_{q \cap w}}{\sqrt{b_{1N} b_{2N}}} , \quad (4)$$

где b_{1N} - энергия гистограммы объекта контроля, b_{2N} - энергия гистограммы эталонного объекта, $b_{q \cap w}$ - общая энергия гистограмм.

Таким образом, коэффициент корреляции $C(G_1; G_2)$ является величиной, отражающей меру годности изделия, тогда как величина $\varepsilon = 1 - C(G_1; G_2)$ отображает меру негодности изделия (меру дефектности).

Функция разбраковки i -того изделия на годное\негодное имеет вид:

$$F_R(C_i) = \begin{cases} 1; C_i > \bar{C} \\ 0; C_i \leq \bar{C} \end{cases}, \quad (5)$$

где $\bar{C}$ - граница разделения классов, которая рассчитывается при обучении. В идеальном случае $\bar{C} = 0,5$.

Критерий достоверности контроля для годных изделий запишется как

$$C_{\text{ср.}} - 3\sigma > \bar{C} , \quad (6)$$

для негодных изделий

$$C_{\text{ср.}} + 3\sigma < \bar{C} , \quad (7)$$

где $C_{\text{ср.}}$ - среднее значение для распределения объектов одного класса, σ - среднеквадратическое отклонение для данного класса объектов.

Для аналоговой реализации процесса вычисления гистограммы яркости предложена схема, представленная на рис.2.

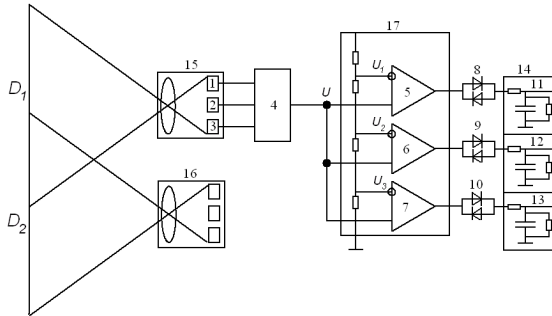


Рис. 2. Структурная схема системы рецептивных полей

На рис.2 обозначены: 1, 2, 3 – фоточувствительные элементы (ФЧЭ) линейного фотоприемника 15, составляющие его рецептивное поле; 15, 16 – линейные фотоприемники; 4 – мультиплексор, организующий разночастотный опрос ФЧЭ (развертку); 5, 6, 7 – дифференциальные усилители с функцией $F(U_0 - U_j) = F(\Delta U)$, описывающей j -ое РП по яркости с центром в U_j , где ΔU – отклонение от центра поля; 17 – модуль разложения сигнала по интервалам яркости, образованный разностными усилителями; 8, 9, 10 – нелинейные элементы; 11, 12, 13 – интеграторы с постоянной времени интегрирования τ , в которых накапливаются частоты гистограммы; 14 – гистограмма яркости.

Данная схема позволяет ускорить процесс вычисления гистограммы, без использования программных средств.

Разработанная оптико-электронная система, основанная на перекрытии пространственных рецептивных полей фотоприемников, приведена на рис.3.

Для оценки перекрытия РП введен коэффициент перекрытия для РП прямоугольной формы $\eta(L, \alpha)$:

$$\eta(L, \alpha) = \frac{S_{\text{общ}}(L, \alpha)}{S_{\Phi}(L, \alpha)}, \quad (8)$$

где $S_{\text{общ}}(L, \alpha)$ - площадь перекрытия двух рецептивных полей, $S_{\Phi}(L, \alpha)$ - площадь самого рецептивного поля.

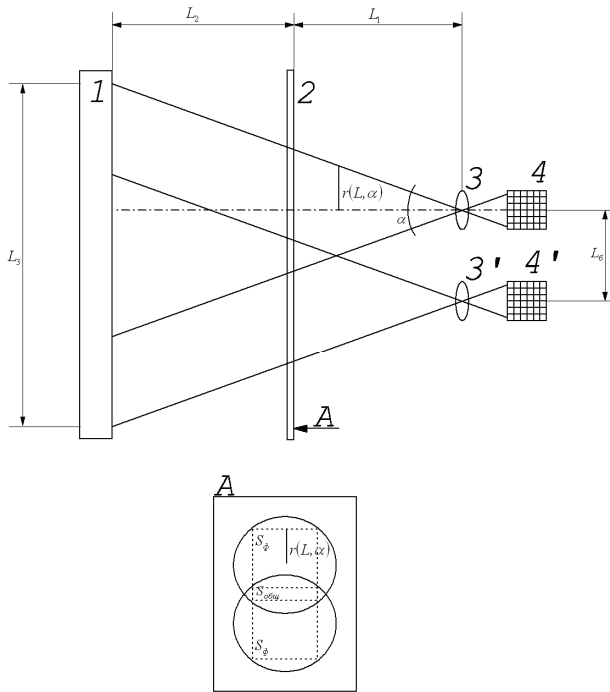


Рис. 3. Схема оптико-электронной системы с перекрытием рецептивных полей фотоприемников

Семейство графиков зависимости коэффициента перекрытия $\eta(L, \alpha)$ от расстояния L для различных апертурных углов линз, представлен на рис.4.

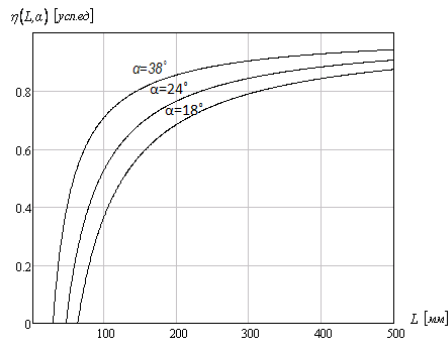


Рис. 4. График функции $\eta(L, \alpha)$ для различных апертурных углов линз.

Рабочий диапазон размеров оптико-электронной системы составляет не более 0,5 м между приемниками и объектом контроля.

В третий главе выполнено исследование параметров метода и прибора контроля для обеспечения высокой чувствительности к дефектам изделий с использованием математической модели прибора в среде MathCad.

Для эксперимента были заданы три объекта контроля, два из которых содержат типичные дефекты: годная бутылка (партия №1, не содержит дефекта) - $\square$; дефект мутной горловины, коробления, серебристой поверхности основания - $\diamond$; видимый дефект, подгорание - Δ .

На рис.5. представлены основные результаты исследований в виде функции коэффициента корреляции гистограмм от варианта комбинации $N(R)$ для исследуемых объектов контроля, где N – количество фотоприемников, R – количество фоточувствительных элементов в составе фотоприемника: а) без группировки в рецептивные поля; б) при рецептивных полях с сигмоидальной функцией, $\eta = 0$; в) при рецептивных полях с сигмоидальной функцией, $\eta = 0,2$; г) при рецептивных полях с сигмоидальной функцией, $\eta = 0,4$.

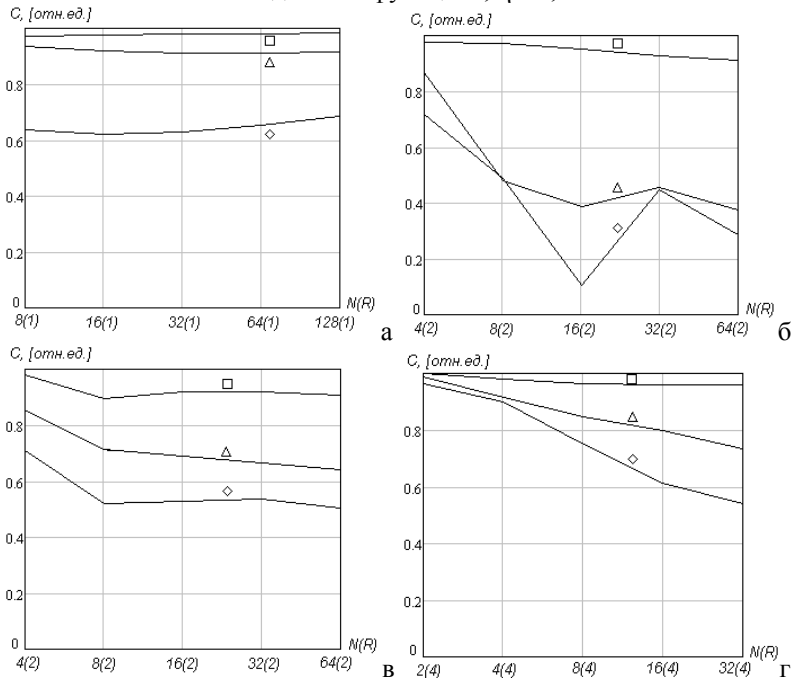


Рис. 5. Зависимость коэффициента корреляции гистограмм C от варианта комбинации $N(R)$ для объектов контроля $\square$, Δ , $\diamond$

В результате исследований установлено, что:

1. Группировка фоточувствительных элементов в рецептивные поля при единичной функции рецептивного поля не изменяет чувствительность

математической модели к дефектам изделий, по сравнению со случаем, когда группировка не используется;

2. Введение рецептивных полей без перекрытия с сигмоидальной функцией приводит к увеличению чувствительности к дефектам яркости в 2,43 раза, к дефектам геометрической формы с размером 10 мм в 7,5 раза. Изменение размеров дефекта в большую или меньшую сторону ведет к уменьшению чувствительности.

3. Перекрытие рецептивных полей при коэффициенте перекрытия $\eta = 0,2$ приводит к расширению диапазона размеров контролируемых дефектов от 2,5 мм до 20 мм. В данном диапазоне чувствительность остается постоянной.

4. Сильное перекрытие рецептивных полей при коэффициенте перекрытия $\eta = 0,4$ приводит к уменьшению чувствительности в области малого пространственного разрешения, однако при этом наблюдается монотонное увеличение чувствительности при увеличении количества фотоприемников.

5. При реализации прибора контроля дефектов пластиковой бутылки следует использовать не менее восьми фотоприемников с не менее чем двумя фоточувствительными элементами.

Для реализации прибора контроля предложена структурная схема, представленная на рис.6. Она содержит: 1 – диффузный осветитель; 2 – объект контроля; 3 – линзу для фотоприемника (3'); 4 – линейный фотоприемник, который состоит из нескольких фоточувствительных элементов (4'); 5 – управляющий микроконтроллер для численного моделирования принципа работы прибора контроля дефектов пластиковой бутылки; 6 – узел управления, индикации; 7 – узел внешнего интерфейса для связи с компьютером; 8 – исполнительное реле; 9 – узел управления яркостью осветителя; 10 – оптико-электронную систему (ОЭС); 11 – первичный измерительный преобразователь (ПИП); 12 – источник электропитания.

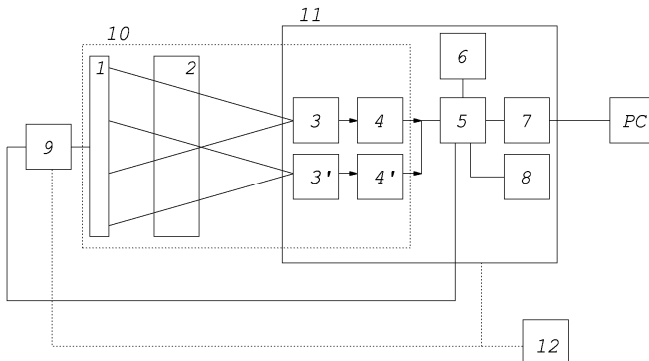


Рис. 6. Структурная схема прибора контроля

Принцип работы прибора контроля заключается в том, что первым этапом эталонный объект контроля с некоторой скоростью проносится через оптико-электронную систему прибора контроля. Микроконтроллер 5 опрашивает каждый фотоприемник 4,4' и приводит сигналы от фоточувствительных элементов к

относительному виду (нормирует к единице). Массиву сигналов от ФЧЭ сопоставляется множество, описывающее пространственное рецептивное поле линейного фотоприемника. Далее, в соответствии с рецептивными полями по яркости, микроконтроллер вычисляет гистограмму яркости в ходе сканирования изделия и также сохраняет ее в памяти. Вторым этапом сканируются объекты контроля, которые содержат дефект. Для каждого контролируемого объекта вычисляется его гистограмма яркости в ходе сканирования и сравнивается с эталонной гистограммой путем вычисления коэффициента корреляции гистограмм. На основе получаемых значений коэффициента корреляции производится обучение макета прибора контроля для поиска оптимальной границы разбраковки. По окончании обучения макет готов к разбраковке объектов контроля на годные и негодные.

Внешний вид действующего макета прибора контроля, на основе разработанной структурной схемы, приведен на рис.7. Введены следующие обозначения: 1 – осветитель; 2 – первичный измерительный преобразователь.

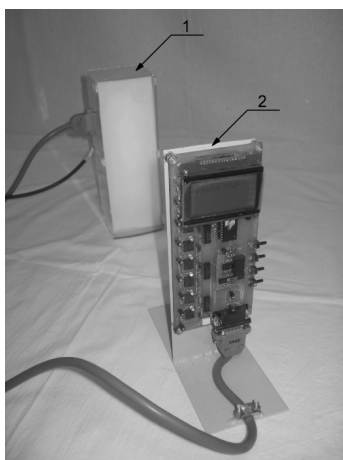


Рис. 7. Внешний вид макета прибора контроля

Макет прибора контроля имеет следующие параметры: количество фотоприемников $N=8$, расположенны вертикально; количество фоточувствительных элементов, задействованных в рецептивном поле фотоприемника $R=18$; коэффициент перекрытия рецептивных полей $\eta=0,38$ на расстоянии $L=75$ мм от фотоприемников до объекта контроля.

Экспериментальное исследование разбраковки изделий прибором контроля на годные и негодные показало, что все объекты были разбракованы однозначно, в соответствии с классом.

В четвертой главе дано описание прибора контроля дефектов пластиковой бутылки, внедренного на производстве. Прибор контроля состоит из двух блоков: компактного блока первичного измерительного преобразователя и отдельного блока

осветителя. Блоки связаны между собой информационным кабелем. Оба блока построены на современной компонентной базе, соответствуют современным требованиям к средствам автоматизации технологических процессов.

Для оценки достоверности прибора контроля были проведены метрологические испытания на ОАО “Барнаульский пивоваренный завод”. Методика проведения испытаний заключалась в разбраковке изделий тестовой партии, которая содержала всего 200 объектов. Из них 100 объектов контроля без дефекта и 100 – с типичными дефектами. Каждый из объектов контроля предъявлялся 30 раз для оценки повторяемости результатов. Всего прибор проконтролировал 6000 объектов контроля на скорости движения конвейера $V=3$ м/сек.

В ходе испытаний было установлено, что все дефектные объекты были разбракованы как негодные ($P_{нг}=0,5$), при этом ошибка второго рода (принятия в качестве годного фактически негодного изделия) равна нулю ($P_2=0$); один объект был разбракован как негодный, хотя фактически дефекта не содержал (ошибка первого рода, когда ошибочно забраковано годное изделие, $P_1=(1/100)=0,01$). Тогда вероятность разбраковки годных изделий как годных определяется как $P_I=(0,5-0,01)=0,49$. Повторяемость результатов составила 100 %.

Риск производителя составил 2 %:

$$P_{II} = \frac{P_1}{P_1 + P_{нг}} = \frac{0,01}{0,01 + 0,5} = 0,02. \quad (9)$$

Риск заказчика составил 0%:

$$P_3 = \frac{P_2}{P_2 + P_I} = \frac{0}{0 + 0,49} = 0. \quad (10)$$

Прибор признан годным к эксплуатации на основании положительного результата метрологических испытаний.

В заключении приведены основные результаты работы.

В приложение вынесены: схемотехническое решение прибора контроля; изображения основных объектов контроля; копии актов о внедрении, отзывы о работоспособности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения диссертационной работы получены следующие результаты.

1. Разработан метод построения гистограммы яркости изделия с использованием рецептивных полей, который осуществляет двойное преобразование сигнала как по пространству, так и по яркости; не требует точного выбора количества интервалов разбиения гистограммы за счет использования перекрывающихся рецептивных полей.

2. Разработан метод контроля дефектов изделий по коэффициенту корреляции их гистограмм, который обеспечивает высокую достоверность контроля дефектов изделий и высокое быстродействие. Метод состоит в том, что на первом этапе сканируется эталонный объект контроля, а его гистограмма яркости заносится в память прибора в качестве эталонной. На втором этапе сканируется новый объект контроля и также рассчитывается его гистограмма яркости. На третьем этапе рассчитывается коэффициент корреляции гистограмм через их энергетические соотношения. На четвертом этапе по коэффициенту корреляции гистограмм вычисляется функция разбраковки и выносится решение о годности изделия.

3. Разработан принцип построения оптико-электронной системы корреляционного прибора контроля дефектов окрашенной пластиковой бутылки на основе ряда линейных фотоприемников с множеством фоточувствительных элементов. Фоточувствительные элементы опрашиваются с различными частотами, что задает их весовой коэффициент. Каждому рецептивному полю фотоприемника в пространстве изображений соответствует определенная область объекта контроля в пространстве предметов. Фотоприемники располагаются так, что области в пространстве предметов перекрываются между собой. Данный принцип построения обеспечивает: уменьшение шума за счет суммирования сигнала с фоточувствительных элементов; увеличение чувствительности к дефектам заданного размера, за счет введения соразмерных дефекту рецептивных полей; расширение диапазона размеров контролируемых дефектов за счет перекрытия рецептивных полей.

4. Разработан прибор контроля дефектов пластиковой бутылки по коэффициенту корреляции гистограмм с использованием рецептивных полей, который обеспечивает достоверный контроль дефектов изделий при скоростях движения конвейера $V=3$ м/сек. Оптико-электронная система состоит из восьми фотоприемников, каждый из которых состоит из 18-ти фоточувствительных элементов. Фотоприемники располагаются так, что области в пространстве предметов перекрываются между собой с коэффициентом перекрытия $\eta=0,38$ на расстоянии 75 мм от фотоприемников до объекта контроля, что обеспечивает расширение диапазона размеров контролируемых дефектов от 2,5 мм до 20 мм.

СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ

1. Доренский А.А. Нейронная сеть для задач адаптации оптико-электронной системы / А.А. Доренский // Микроэлектроника и информатика – 2008. 15-я Всероссийская межвузовская научно-техническая конференция студентов и аспирантов: Тезисы докладов. – М.: МИЭТ, 2008. – 360 с. С-192.
2. Доренский А.А. Исследование интеллектуального оптико-электронного прибора контроля качества в условиях уменьшения детализации изображения / А.А. Доренский, Е.А. Зрюмов, С.П. Пронин // Высокие технологии, фундаментальные и прикладные исследования, образование. Т. 12: Сборник трудов Пятой международной научно-практической конференции “Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности”. 28-30.04.2008, Санкт-Петербург, Россия / Под ред. А.П. Кудинова, Г.Г. Матвиенко. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. 579 с. С-181.
3. Доренский А.А. Адаптация оптико-электронной системы средства контроля качества к объекту с помощью нейронной сети. / А.А. Доренский, Е.А. Зрюмов. // XIV Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные техника и технологии» / Сборник трудов в 3-х томах. Т. 1. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 530 с. – С.153
4. Доренский А.А. Средство контроля качества пластиковой бутылки / А.А. Доренский, Е.А. Зрюмов и др. // Ползуновский альманах – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2006. – №4; С-23-26.
5. Доренский А.А. Применение нейронных сетей и принципа рецептивных полей в оптическом контроле промышленных изделий / А.А. Доренский, Е.А. Зрюмов, С.П. Пронин // Ползуновский альманах – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2006. – №4; С-37-38.
6. Доренский А.А. Интеллектуальный метод контроля, основанный на формировании мер исследуемого изображения / А.А. Доренский, Е.А. Зрюмов, С.П. Пронин // Ползуновский альманах – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2008. – № ; С-20-21.
7. Доренский А.А. Прибор контроля качества пластиковой бутылки, техническое решение / Е.А. Зрюмов, С.П. Пронин, А.А. Доренский // Ползуновский альманах – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2009. – №2; С-118-121.
8. Доренский А.А. Принцип рецептивных полей для согласования пространственно-яркостного разрешения прибора с объектом контроля / А.А. Доренский – Высокие технологии, фундаментальные исследования, образование, промышленность : Сборник трудов Восьмой международной научно-практической конференции “Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности”. 27–28.10.2009, Санкт-Петербург, Россия / Под ред. А.П. Кудинова. -СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. 359 с. С-119.
9. Доренский А.А. Исследование метода контроля качества ПЭТ с использованием нечетких гистограмм яркости / А.А. Доренский, С.П. Пронин, Е.А. Зрюмов // Измерение, контроль, информатизация: Материалы XI Международной

научно-технической конференции, под ред. Л.И.Сучковой - Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2010. – 216с., С 71.

10. Доренский А.А. Контроль качества ПЭТ-бутылки по цифровому изображению / А.А. Доренский, С.П. Пронин, Е.А. Зрюмов. – М.: Приборы и системы, управление, контроль, диагностика, 2010 - №1. – С.37-42. (Журнал из Перечня ВАК)

11. Доренский А.А. Принцип рецептивных полей для разложения в гистограмму яркости / Е.А. Зрюмов, С.П. Пронин, А.А. Доренский // Ползуновский Вестник. - Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2009. - №4. - С.259-262. (Журнал из Перечня ВАК)

12. Доренский А.А. Метод построения нечеткой гистограммы яркости, предназначенный для оптического контроля качества промышленных изделий / А.А. Доренский. – М.: Естественные и технические науки, 2010 - №5. – С.401-406 (Журнал из Перечня ВАК)