

2004, том 40, № 5

УДК 681.782.5

**В. С. Базин, Л. В. Финогенов, И. В. Плеханова, Д. Н. Потеев,
А. Г. Верхогляд, Н. Г. Загоруйко, С. А. Гуляевский,
Ю. С. Шульман, М. Ю. Зайцев**

(Новосибирск – Электросталь Московской обл.)

**УСТРОЙСТВА СЧИТЫВАНИЯ СИМВОЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ
С ТЕПЛОЫДЕЛЯЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ
ИЗДЕЛИЙ НА КОНВЕЙЕРЕ**

Рассмотрены автоматические устройства считывания и распознавания кодовой (символьной) информации с поверхности тепловыделяющих элементов. Приведены аппаратные и программные способы решения одной из основных проблем создания таких устройств – затенения части изображения. Отличительной особенностью созданных устройств является возможность быстрой адаптации к существующим технологическим линиям. Представлена оригинальная конструкция устройств проецирования изображения, обеспечивающая надежное считывание информации при произвольной ориентации изделия на конвейере. Предложен алгоритм, обеспечивающий высокую вероятность распознавания считанной информации (более 93 %). Приведены результаты испытаний созданных устройств.

Введение. В настоящее время на автоматических линиях производства используется буквенно-цифровая и кодовая маркировка изделий (например, маркировка тепловыделяющих элементов (ТВЭЛ) для реакторов атомных электростанций). В надписях содержится различная технологическая информация и сведения о самом изделии. Для оперативного управления параметрами и ходом технологического процесса необходимо иметь возможность считывания в автоматическом режиме и декодирования нанесенной на изделие информации. При этом и считывание и распознавание информации должно осуществляться в темпе движения изделий на технологической линии. Задача считывания технологической информации актуальна в атомной промышленности при контроле продуктов постреакции в реакторе и связана с реализацией программы создания топливных элементов нового поколения.

Известны устройства и программное обеспечение к ним, предназначенные для считывания и автоматического распознавания символьной информации (например, различные сканеры и программное обеспечение Fine Reader фирмы “BIT Software Inc.”, применяемые для распознавания информации,

содержащейся в печатных изданиях). В этом случае отсутствуют жесткие требования к продолжительности процессов считывания и распознавания, а также подразумевается, что в процессе считывания возможно возникновение ошибок, допускается ручное позиционирование считываемой информации относительно устройства считывания. Все это (с некоторыми поправками) можно отнести и к процессу считывания кодовой информации в кассовых автоматах супермаркетов.

При создании устройств автоматического считывания и распознавания технологической информации, нанесенной в символьном виде на поверхность ТВЭЛ, необходимо учитывать ряд специфических требований:

- недопустимость конструктивных изменений в устройстве технологической линии;
- строгое ограничение на габаритные размеры устройства считывания;
- осуществление процесса считывания информации при произвольной ориентации изделия в пространстве и произвольном (в пределах некоторой области) месторасположении объекта;
- высокая надежность распознавания при наличии различных геометрических искажений в изображении символьной надписи, обусловленных отличием формы кодовой поверхности от плоскости, сильной неравномерностью засветки, сбоями технологического оборудования, используемого для нанесения надписи;
- возможность считывания изображения при различных способах нанесения информации;
- обеспечение высокой достоверности результатов считывания и распознавания символьного кода (допустимая вероятность ошибочного считывания и распознавания кода не более 10^{-6}).

С учетом этих требований создан ряд аппаратно-программных комплексов для считывания технологической информации, нанесенной на поверхность тепловыделяющих элементов [1]. В данной работе описаны два типа устройств. Устройство первого вида позволило считывать надпись при произвольной ориентации изделия относительно устройства считывания, а с помощью алгоритма обработки изображение надписи приводилось к некоторому «стандартному» виду. В устройствах второго вида автоматически определялась ориентация изделия относительно системы считывания.

В обоих случаях важным элементом программно-аппаратного комплекса являлся алгоритм распознавания символьного кода.

Общие требования к устройству. Устройство автоматического считывания и распознавания информации состоит из трех блоков: проецирования изображения, подсветки, регистрации изображения.

Назначение блока проецирования заключается в отображении поверхности с надписью на фоточувствительную площадку устройства регистрации изображения. При этом отображение должно производиться с минимальными искажениями изображения [2, 3]. В случае, если надпись нанесена на плоскость, в качестве устройства отображения можно использовать обычный объектив, и задача создания устройства сводится к выбору коэффициента увеличения изображения. При нанесении надписи на поверхность, отличающуюся по форме от плоскости, необходимо предпринимать специальные меры для уменьшения геометрических искажений изображения. В процессе производства ТВЭЛ используются два способа нанесения технологической надписи на поверхность. В одном случае надпись наносится на цилиндрическую часть (диаметр цилиндра 5 мм) заглушки ТВЭЛ. При этом надпись

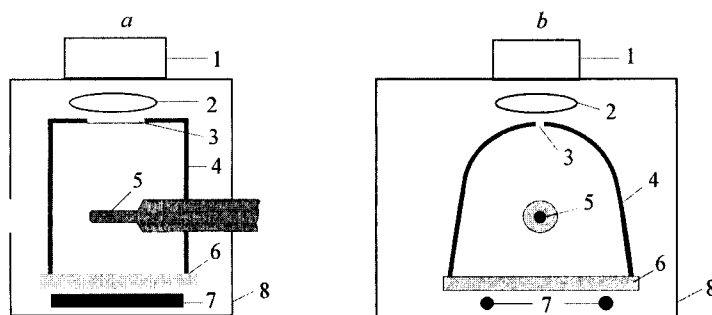


Рис. 1. Схема устройства считывания информации, нанесенной вдоль образующей цилиндра (две проекции в разрезе: вдоль оси цилиндра (а), перпендикулярно оси цилиндра (b)): 1 – CCD-камера; 2 – объектив “Vega-2/20”; 3 – щелевая диафрагма; 4 – параболический отражатель; 5 – место нанесения надписи на цилиндрической поверхности; 6 – матовая пластинка; 7 – цилиндрические излучатели устройства подсветки; 8 – корпус устройства

ориентирована вдоль образующей цилиндра. В другом случае надпись наносится по периметру цилиндрической части заглушки, диаметр которой составляет 9 мм.

При нанесении надписи вдоль образующей цилиндра использовались следующие параметры цифр: высота цифры 3–3,5 мм, количество цифр в надписи шесть. Поэтому при соответствующей ориентации изделия имеется возможность считать всю надпись за один кадр с использованием обычного объектива. Так как цифры нанесены на цилиндрическую поверхность, глубина резкости объектива должна превышать величину отклонения цилиндрической поверхности от плоскости на дуге длиной 3 мм. Исходя из этого условия и ограниченности габаритных размеров, в качестве проецирующего устройства был выбран объектив типа “Vega-2/20”. Взаимное расположение частей устройства считывания и изделия показано на рис. 1. Устройство считывания устанавливается на конвейере в месте технологической остановки изделия и ориентируется соответственно с положением надписи. Во время остановки происходит считывание изображения и распознавание кода. Конструкция устройства позволяет устанавливать его на участках с продольным перемещением ТВЭЛ без дополнительных изменений линии.

В случае, когда надпись наносится по периметру цилиндра, часть ее будет скрыта независимо от ориентации изделия. Тогда для считывания всей надписи применяются дополнительные блоки, обеспечивающие сканирование всей кодовой поверхности. Недостатком такого решения является наличие подвижных механических частей, существенно усложняющих устройство и снижающих его надежность. Поэтому в состав блока проецирования изображения было введено дополнительное зеркало конической формы (рис. 2). Такое зеркало позволяет производить считывание всей надписи без дополнительного сканирования. Данное устройство также используется в местах технологической остановки изделия (в местах поперечного перемещения ТВЭЛ), и для осуществления считывания необходим привод для подведения устройства в зону считывания.

При считывании изображения с цилиндрической поверхности (см. рис. 1) качество изображения, а значит, и надежность распознавания зависят от конструкции блока подсветки. С одной стороны, при освещении цилинд-

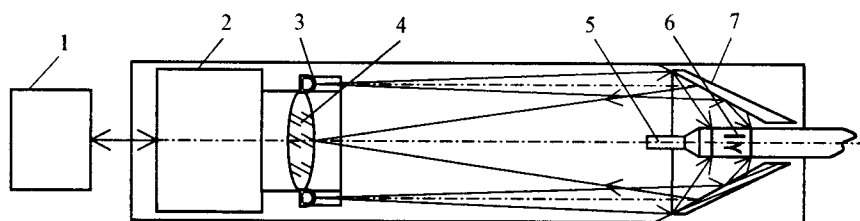


Рис. 2. Схема устройства считывания информации, нанесенной по периметру цилиндрической поверхности: 1 – компьютер; 2 – CCD-камера; 3 – осветитель импульсный кольцевой; 4 – объектив; 5 – ТВЭЛ; 6 – место нанесения кода; 7 – зеркало коническое

рической поверхности сбоку всегда найдется образующая, для которой реализуется условие зеркального отражения, и эта образующая на изображении будет слишком яркой. С другой стороны, так как напротив поверхности располагается блок считывания, то имеется образующая, для которой никогда не будет реализовано условие зеркального отражения. Такая образующая на снимке будет выглядеть как темная полоса. Эти проблемы практически отсутствуют при использовании устройства считывания, изображенного на рис. 2. В данном случае удается добиться относительно однородной засветки всей кодовой поверхности.

Для регистрации изображения в обоих случаях использовалась CCD-камера. Выбирали подходящую модель исходя из требования получения необходимого разрешения. При вышеописанных способах нанесения надписи соотношение между характерным размером надписи и минимальным размером значимого элемента символа лежало в диапазоне 200–300. Надежная идентификация достигается, когда на элемент изображения приходится не менее 3 пиксел камеры. Отсюда следует, что необходимое число элементов в строке камеры и число строк должно быть порядка 900. Кроме того, для удобства дальнейшей обработки изображения желательно иметь CCD-камеру с цифровым выходом. Этим условиям вполне удовлетворяет и оказалась легко доступной камера “Hitachi КР-М1”.

Устройство считывания, изображенное на рис. 1, применялось для считывания надписей в случае нанесения их вдоль образующей цилиндрической поверхности. При этом удавалось получить достаточно качественное изображение надписи (рис. 3, *a*). На рис. 3, *b* приведено идеальное начертание символов, наносимых на поверхность. Видно, что символы на фотографии значительно отличаются от идеального написания. Эти отличия вызваны как несовершенством маркирующего механизма, так и искажениями, обусловленными отображением цилиндрической поверхности на плоскость. Кроме того, наличие в центре снимка черной полосы объясняется тем, что



Рис. 3. Вид символов на видеоизображении и при идеальном написании: *a* – снимок надписи, нанесенной вдоль образующей цилиндра; *b* – образец начертания символов

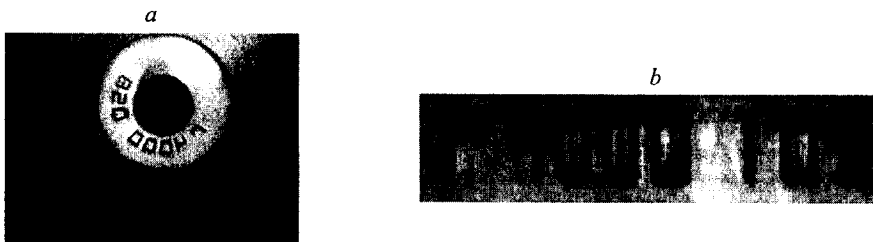


Рис. 4. Видеоизображение надписи до и после процедуры «разворачивания в строку»: *a* – снимок надписи, нанесенной по периметру цилиндра; *b* – изображение надписи, нанесенной по периметру цилиндра и развернутой в строку

для данной образующей поверхности цилиндра невозможно найти луч, исходящий из блока подсветки, для которого реализуется условие зеркального отражения. Большая яркость изображения по краям цилиндра вызвана тем, что для данных точек поверхности максимально хорошо реализовано условие зеркального отражения.

На рис. 4, *a* приведен снимок цилиндрической поверхности, полученный с помощью устройства, представленного на рис. 2. В данном случае вся поверхность цилиндра имеет практически равномерную засветку, так как при использовании кольцевого осветителя условия подсветки одинаковы для любой точки цилиндрической поверхности. Устройство такой конструкции невозможно применять в случае нанесения надписи вдоль образующей цилиндра. Иначе пришлось бы использовать конический отражатель больших размеров, а геометрические искажения изображения, обусловленные существенной разницей радиуса кривизны конической поверхности в начале и в конце отражателя, оказываются слишком велики. Снимок надписи, нанесенной вдоль образующей цилиндра, сделан при помощи конического отражателя (рис. 5).

При распознавании изображений, полученных с помощью двух таких устройств, применяли один и тот же алгоритм. Только при использовании устройства с коническим отражателем перед началом распознавания производилась процедура поиска центра изображения и разворачивания данного изображения в строку. Результат такой процедуры приводится на рис. 4, *b*.

Алгоритм обработки изображений. Цифры, нанесенные на наконечник ТВЭЛ, имеют стандартную высоту и ширину и отстоят на фиксированном расстоянии друг от друга. Более того, форма написания цифр стилизована (похожа на форму цифр на почтовых конвертах). При распознавании таких цифр есть сложности, вызванные условиями реальной заводской эксплуатации распознающего устройства.



Рис. 5. Изображение снимка символической и штриховой надписей, нанесенных вдоль образующей. В правой верхней части снимка видно искаженное изображение штрихкода. В левой нижней части располагается искаженное изображение цифр

Наконечник соединяется с трубкой ТВЭЛ с помощью сварки, невысокая точность которой приводит к тому, что ось наконечника не точно совпадает с осью трубки. Это, в свою очередь, приводит к отклонению оси цифрового ряда от горизонтальной линии. Наконечник ТВЭЛ автоматически вводится в считывающее устройство, при этом не обеспечивается точная фиксация углового положения ТВЭЛ относительно считывающего устройства. В результате числовой ряд может оказаться сильно смещенным по вертикали относительно оси цилиндра. Все это вызывает нелинейные искажения формы цифр вдоль их вертикальной оси. Зеркальная поверхность цилиндра образует на оптическом изображении наконечника широкую черную полосу вдоль его осевой линии, которая маскирует среднюю часть всех цифр. Другие части цифр могут быть закрыты пятнами или частицами пыли. Блики поверхности цилиндра по краям иногда делают невидимыми верхние или нижние части цифр. И при всем этом требуется высокая точность распознавания цифры: допускается не более одной ошибки на семь миллионов распознанных цифр.

Предлагаемый алгоритм распознавания маркеров включает в себя следующие процедуры: поиск границ прямоугольного окна с изображением цифры [4], построение эталонов, формирование описания распознаваемой цифры и распознавание этой цифры. Рассмотрим основные элементы этих процедур.

Распознающему устройству предъявляется растровое полутоновое изображение размером 500 пиксел по вертикали и 750 пиксел по горизонтали. В этом кадре на темном фоне выделяется более светлая часть высотой от 150 до 200 пиксел и длиной около 600 пиксел с изображением цилиндра наконечника. Изображения цифр имеют средние размеры 100×50 пиксел.

Как в процессе построения эталонов, так и в процессе распознавания нужно по возможности точно определить рамки окон, в которых находятся изображения цифр. Для этого вначале находятся границы прямоугольника, в котором размещается изображение цилиндра. Кадр просматривается сверху вниз узким горизонтальным окном длиной во весь кадр, и в каждом его положении вычисляется суммарная плотность изображения. Градиент плотности позволяет определить верхнюю и нижнюю границы светлого участка.

Сканирование изображения в выделенной полосе узким вертикальным окном по горизонтали позволяет найти левую и правую границы светлого прямоугольника. Изменяя размеры и форму окна сканирования, можно найти границы ряда цифр по горизонтали и вертикали, границы каждой цифры по горизонтали и положение центральной горизонтальной темной линии.

Изображение цифры в окне 50×100 пиксел делится на квадратные ячейки размером 5×5 пиксел. Динамический диапазон яркости изображения в каждой ячейке измеряется с точностью до 256 градаций. В итоге исходное описание цифры представляет собой 200-мерный вектор яркости.

Изображения цифр сильно отличаются друг от друга по средней яркости и контрасту, поэтому ориентация на абсолютные значения яркости не обеспечивает высокой помехоустойчивости системы распознавания. Для ее повышения можно перейти к огрубленному представлению яркости в шкале порядка с небольшим числом градаций. Разделим вещественную ось X на 256 делений и отобразим в каждое деление количество ячеек с яркостью, равной номеру деления. В результате получим гистограмму яркости изображения данной цифры. Отметим яркость самой темной (P_{\max}) и самой светлой

(P_{\min}) ячеек и разделим диапазон $R = P_{\max} - P_{\min}$ на S равных частей (поддиапазонов). Припишем всем ячейкам, попавшим в первый поддиапазон, порядковую величину яркости, равную 1. Ячейкам из второго поддиапазона – величину 2 и т. д. для всех S участков гистограммы. Таким образом, описание каждой цифры будет представлять собой вектор из 200 компонент, принимающих целочисленные порядковые значения яркостей в диапазоне от 1 до S . Будем называть каждую компоненту этого вектора признаком.

Из гипотезы глобальной компактности [4] следует, что для каждого образа достаточно иметь по одному эталону, в качестве которого можно использовать одну реализацию, сумма расстояний от которой до всех других реализаций этого образа минимальна. Расстояние между реализациями будем определять по методу Кенделла – Кемени, ориентированному на измерение расстояний в шкале порядка [4]. При этом нужно перебрать все сочетания из N признаков по два и для каждой пары (i, l) сравнить их порядковое отношение в реализациях A и B . Если порядковые отношения одинаковы, т. е. если $(x_{a_i} > x_{a_l} \text{ и } x_{b_i} > x_{b_l})$ или $(x_{a_i} < x_{a_l} \text{ и } x_{b_i} < x_{b_l})$, или $(x_{a_i} = x_{a_l} \text{ и } x_{b_i} = x_{b_l})$, то расстояние $d(i, l) = 0$. Если отношения порядка на этих признаках прямо противоположны, т. е. если $(x_{a_i} > x_{a_l} \text{ и } x_{b_i} < x_{b_l})$ или $(x_{a_i} < x_{a_l} \text{ и } x_{b_i} > x_{b_l})$, то $d(i, l) = 1$. В промежуточном случае, когда у одной реализации имеет место отношение «>» или «<», а по другому признаку отношение «=», считается, что $d(i, l) = 0,5$. Общее расстояние D определяется как средняя мера «неогласия» на всех парах признаков (среднее значение $d(i, l)$).

Если есть основания считать, что более подходящей является гипотеза полимодальной компактности, то минимальный и достаточный набор эталонов («прецедентов») можно построить с помощью алгоритма “Stolp” [4].

Распознавание образов обычно производится в некотором общем для них признаковом пространстве. Между тем очевидно, что для надежного распознавания пар образов (A, B) , (A, C) и (B, C) было бы целесообразно использовать такие характеристики, индивидуально подобранные для каждой пары, по которым образы в каждой из этих пар наиболее сильно отличаются друг от друга. Если распознается K образов, то при этом подходе требуется построить эталоны для всех их парных сочетаний и затем в процессе распознавания организовать экономичную процедуру попарного сравнения конкурирующих образов. Начнем с выбора наиболее информативного («компетентного») подпространства характеристик для каждой пары образов.

Каждая реализация любого из K образов описывается набором из N порядковых признаков. Если признак X_i принимает одно и то же значение и для образа A и для образа B , то его информативность для этой пары следует считать равной 0 вне зависимости от того, находится ли он в какой-нибудь зависимости от других признаков или нет. Если же расстояние между значениями этого признака X_i для данных образов велико, то он может нести полезную информацию. Исходя из этого в качестве меры информативности признака X_i при распознавании пары образов A и B будем брать величину $J_i(a, b) = |X_i(a) - X_i(b)|$. Такие весовые коэффициенты используются при определении взвешенного расстояния между объектами в признаковом пространстве. В результате для каждой пары образов N -мерное пространство рассматривается через свой вариант весовых коэффициентов. Каждый такой вариант взвешенного пространства будем называть компетентным подпространством для данной пары образов.

Рассмотрим процесс распознавания принадлежности реализации Y к одному из трех образов: A , B и C . Сравнивая распознаваемую реализацию Y с эталонами образов A и B , определяем, на какой из этих двух образов более похожа реализация в подпространстве, оптимальном именно для этого случая. То же относится и к сравнению пар (A, C) и (B, C) . Для сокращения необходимого числа сравнений сформулируем утверждение о транзитивности: если $R(a, Y) < R(b, Y)/AB$ и $R(a, Y) < R(c, Y)/AC$, то $R(a, Y)/AB < R(b, Y)/BC$ и $R(a, Y)/AB < R(c, Y)/BC$, т. е. если в двух парных сравнениях (A, B) и (A, C) победителем оказывается один и тот же образ A , то победитель среди проигравших образов (B и C) не может победить образ A . Так что сравнение между проигравшими можно и не проводить: кто бы из этой пары ни оказался победителем, он уже проиграл образу A . Дело в том, что при этом методе распознавания для всех пар образов с наибольшим весом учитываются те признаки, которые наилучшим образом подчеркивают различия именно между этими двумя образами, т. е. для каждого из них создаются наилучшие условия для победы над каждым из конкурентов в отдельности. И если распознаваемая реализация является представителем образа A , то при первом же попадании этого образа в состав сравниваемой пары он выигрывает соревнование у своего конкурента в этой паре, а затем и у всех остальных конкурентов.

На основании сказанного процедура распознавания строится следующим образом. N -мерный вектор распознаваемой реализации Y сравнивается с эталонными векторами любой пары образов с использованием весовых коэффициентов для этой пары. Определяется образ, расстояние которого от эталона до реализации оказалось меньшим. Он ставится на первую позицию и к нему на вторую позицию ставится любой следующий образ из числа тех, которые не участвовали в сравнении. Победитель этой пары снова занимает первую позицию, на вторую ставится следующий новый конкурент. Такая процедура повторяется $(K - 1)$ раз. Победитель последней пары и является победителем над всеми конкурентами.

В итоге решение о принадлежности реализации к одному из K образов принимается за число шагов, равное $(K - 1)$. При этом судьба каждого образа решается в наилучших для него условиях. В традиционной схеме распознавания в общем для всех образов признаковом пространстве это важное и естественное требование не выполняется. Если среди большого числа образов есть пара образов, похожих друг на друга, но сильно отличающихся от остальных, то в качестве информативных будут выбраны такие признаки, которые являются лучшими в среднем, а тонкие различия внутри этой пары не будут подчеркиваться. Расстояние от реализации до эталонов этих двух образов будет измеряться по второстепенным для них признакам, шумы в которых могут замаскировать их существенные отличия. Известно, что качество распознавания тем выше, чем больше информативность признакового пространства. На основании вышеприведенных аргументов можно без дополнительных доказательств сделать следующее утверждение о преимуществах описанного метода.

Если $\Delta P(N)$ – ошибки при распознавании в пространстве характеристик, общих для всех образов, а $\Delta P(n)$ – ошибки при распознавании путем попарного сравнения в компетентных подпространствах, то $\Delta P(n) \leq \Delta P(N)$.

Этот способ предназначен для быстрого выхода на самую вероятную гипотезу и основан на использовании «пространства образов» Z , которое строится так. Введем переменные Z_i ($i = 1, 2, \dots, K$), на которых отложим расстояния от эталона образа i до эталонов всех остальных образов. При этом рас-

стояние между эталонами определяется в исходном пространстве признаков. В сформированном в итоге пространстве Z каждый образ будет представлен K -мерным вектором.

Процедура распознавания состоит из двух последовательных этапов: отбора претендентов и выбора среди претендентов. На этапе отбора в исходном пространстве признаков X измеряется расстояние $R(a, Y)$ от распознаваемой реализации Y до эталона образа A . Если в K -мерном пространстве по A -й оси отложить расстояние от реализации Y до эталона образа A и сравнить с расстояниями до эталонов других образов, то можно найти эталон образа B , наиболее близкий к отложенной точке. Следующее сравнение реализации Y нужно делать с эталоном именно этого образа B . Тогда аналогичная процедура проводится уже на плоскости (A, B) , соответствующей расстояниям до образов A и B . На t -м шаге выделяется K' образов, наиболее похожих на реализацию Y . Вероятность того, что отобранные K' образов случайно оказались похожими на реализацию Y , сокращается с ростом числа шагов t по степенному закону. Дальнейший выбор между этими образами-претендентами делается в режиме описанного выше попарного сравнения в компетентных пространствах. Но поскольку этих образов не много, то весовые коэффициенты компетентности признаков не требуется вычислять заранее и сохранять в памяти, а можно вычислять непосредственно при сравнении реализации с каждой парой образов. Затраты памяти в этом методе с увеличением количества образов растут линейно. Для успешного распознавания по этой схеме достаточно провести небольшое фиксированное число t шагов отбора претендентов и фиксированное число шагов парных сравнений, суммарное количество которых будет существенно меньше количества образов и будет слабо зависеть от этого количества.

Результаты тестирования устройств и их обсуждение. Испытания устройств для автоматического считывания и идентификации технологической информации проводились при работе конвейера в «нормальном режиме» в одном из цехов ОАО «Машиностроительный завод» (г. Электросталь). При испытаниях устройства, показанного на рис. 1, 93 % тестируемых изделий были успешно идентифицированы. Анализ результатов тестирования показал, что ошибки, появившиеся в идентификации информации считывания, обусловлены двумя факторами. Первый фактор – это размеры символов в надписи в вертикальном направлении не соответствуют величинам, определенным техническими требованиями. В результате символы частично выходили за границы или были сильно искажены (рис. 6, *a*).

Второй источник ошибок состоял в избыточном освещении изделий, что приводило к низкой контрастности изображения (рис. 6, *b*). Чрезмерное освещение имело место при совпадении максимума спектрального коэффициента светового отражения поверхности изделия с максимумом спектра источника излучения в осветительном устройстве. Этих ошибок можно избежать.



Рис. 6. Видеоизображения символов: с отклонением размеров (*a*) и контраста (*b*)

Для этого необходимо определить заранее коэффициент светового отражения поверхности и отметить время аккумуляции, требуемое при считывании изображения. Среди изделий, размер надписей которых удовлетворяет заданным границам и величина освещения поверхности находится в пределах допустимых границ, вероятность должной идентификации надписей соответствует 100 %.

Из анализа работы устройства, приведенного на рис. 2, установлено, что практически все ошибки происходят из-за наличия в надписи символа, соответствующего 1. Поле матрицы точек символа имеет ширину, отличную от ширины других символов. В этом случае алгоритм идентификации «не работает». Чтобы избежать ошибок идентификации надписей, имеющих символы, равные 1, необходимо изменить написание этого символа таким образом, чтобы его ширина соответствовала ширинам других символов.

В процессе испытаний устройств автоматического считывания информации было проведено сравнение работы предложенного алгоритма идентификации с алгоритмом [5]. Сравнимый алгоритм базируется на методе распознавания, включающем кодирование каждой точки изображения направлением доминирующей ориентации ее локальной окрестности. Закодированное изображение сравнивается с набором эталонов. Значение распознаваемого символа определяется эталоном, дающим максимальное количество совпадений.

В результате сравнения алгоритмов выявлено, что алгоритм распознавания кода, представленный в данной работе, менее критичен к качеству нанесения символов, но более критичен к изменениям яркости изображения. В целом оба алгоритма показали примерно одинаковую вероятность распознавания технологической информации.

Заключение. По результатам испытаний устройств можно сделать следующие выводы:

– вероятность правильного распознавания кода сильно зависит как от однородности освещения, создаваемого осветителем, так и от спектрального состава излучения осветителя;

– надежность работы предложенного первичного алгоритма для распознавания символьной информации определяется наличием дефектов изображения, совпадающих с элементами распознаваемых символов;

– для повышения надежности работы предложенного алгоритма и уменьшения вероятности ошибки при распознавании считанной информации (вероятность ошибки менее 10^{-6}) необходимо включать в написание кода дополнительные тестовые символы.

На основе разработанных конструкций могут быть созданы устройства для считывания изображения с движущихся изделий, что делает возможным контроль технологического процесса практически на любом его этапе. Аппаратная часть устройства может использоваться в системах, предназначенных для поиска дефектов на поверхностях изделий.

Авторы выражают благодарность Ю. В. Обидину за помощь и полезные предложения при обсуждении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Плеханова И. В., Финогенов Л. В., Борисова И. В., Попов П. Г. Распознавание символов на цилиндрических поверхностях методом локальных анизотропных признаков // Автметрия. 2001. № 6. С. 80.

2. Ландсберг Г. С. Оптика. М.: Наука, 1975 .
3. Marechal A., Franson M. Diffraction Structure des Images. Paris, 1960.
4. Загоруйко Н. Г. Прикладные методы анализа данных и знаний. Новосибирск: ИМ СО РАН, 1999.
5. Верхогляд А. Г., Плеханова И. В., Финогенов Л. В. и др. Распознавание изображений цифровых кодов на поверхности тепловыделяющих элементов // Автометрия. 2004. 40, № 5. С. 63.

*Конструкторско-технологический институт
научного приборостроения СО РАН,
Институт математики СО РАН,
ОАО «МСЗ»,
E-mail: verhog@tdisie.nsc.ru*

*Поступила в редакцию
6 мая 2003 г.*

Подписка на наш журнал – залог Вашего успеха!