

ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТЕЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ И ПРИНЯТИИ РЕШЕНИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ ПЛИТОК О СОРТЕ В ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ

Гетьман И.А.

Донбасская государственная машиностроительная академия

Abstract

Getman I. The estimation of error in the measuring control of ceramic tiles with processing of their images and making of a decision about type in the information-measuring system. The model of introduction and transformation of the errors, which appear with image processing, is proposed, and the payment of the utilized algorithms of working into the total effectiveness of the work of the information-measuring system of quality control of the ceramic tile is also investigated.

Введение. Керамическое производство характеризуется сложностью технологических процессов, высокими требованиями к качеству готовых изделий (в частности, глазурованных и декорированных керамических плиток), внешний вид которых может существенно отличаться от требований, предъявляемых регламентами предприятий и заказчиками. Керамические плитки с многочисленными дефектами поверхности, как геометрического характера вследствие коробления черепка, так и вследствие нарушений технологического процесса подготовки и нанесения глазури (мушки, засорки, натеки, плешины и т.д.) и просто с механическими повреждениями отбраковываются на современных предприятиях в основном вручную, либо, в случае небольшого количества дефектов и малого снижения потребительских свойств, так же вручную подвергаются сортировке.

Предложенный автором фотоэлектрический автоматизированный контроль качества внешнего вида керамических плиток на основе обработки, анализа и распознавания изображений дефектов непосредственно в ходе технологического процесса (в основном, на финишных операциях) и его реализация позволили провести теоретические и экспериментальные исследования в области:

- формализации и моделирования метрологических задач и задач квалиметрии, решаемых в ходе измерительного контроля с помощью информационно-измерительной системой контроля качества (ИИСКК) керамических плиток [1];
- моделирования измерительного канала ИИСКК, преобразований измерительного сигнала на различных этапах его распространения и изменения носителя и формы представления [2]. Операторная модель измерительного канала, построенная в ходе исследований, раскрывается соответствующими формулами, показывающими энергетические и пространственно-частотные преобразования светового фронта, его дискретизацию и фотоэлектрическое преобразование в приборах с зарядовой связью (ПЗС);
- предложен ряд ИИСКК различного уровня реализации функциональных возможностей — от усовершенствованных автоматизированных рабочих мест операторов контроля до адаптивного самодиагностирующегося программно-аппаратного комплекса со встроенными базами данных и знаний и средствами искусственного интеллекта для поддержки принятия решений [3].

На основе использования ряда зависимостей, связанных с преобразованием по преобразованию измерительного сигнала в различном его виде — от светового фронта, проходящего через цеховую среду распространения сигнала, до дискретизированного в ПЗС и квантованного в аналого-цифровом преобразователе массива отсчетов, который рассматривается как изображение с внесенными в него помехами и шумами, но готовое к дальнейшей обработке — проанализированы возмущающие воздействия, выполнена оценка их вклада в воз-

можную погрешность светового и электрического сигнала (энергетическую, пространственную, частотную), определены мероприятия по снижению влияния возмущающих воздействий, доказано, что их влиянием при определении метрологических характеристик ИИСКК можно практически пренебречь в условиях соблюдения должных технических требований к организации измерительного канала в его аналогово-цифровой части.

Постановка задачи. Построить модель влияния и произвести оценку погрешности, вносимой на этапах обработки изображений керамических плиток и распознавания образов дефектов (см. рис. 1). Определить критерии и наметить алгоритмы адаптации вычислительной части информационного канала ИИСКК к условиям проведения контроля, снизить риски производителей и потребителей в случае неправильных результатов контроля.

Изложение основных научных результатов. Процессы фильтрации изображения в цифровом виде, обнаружения границ и сегментации изображения, выполняемых в ИИСКК, представлено в виде оператора [2]:

$$R_5(\bar{\pi}_F, \bar{\xi}_F): [\{\psi_j^n\}]_{\Delta_{ad}} \rightarrow \{A_j^l\}_{l \in 1, \dots, r}, \tag{1}$$

где $\bar{\pi}_F$ — вектор режимов проведения цифровой обработки, учитывающий используемые алгоритмы, $\bar{\xi}_F$ — вносимые соответствующими алгоритмами искажения обрабатываемых сигналов и методические погрешности в результат измерительного контроля, $\{A_j^l\}_{l \in 1, \dots, r}$ — описание обработанного изображения, включающее в себя перечень характерных областей изображения, их геометрических, частотных и цветовых параметров, при этом l — номер элемента описания, а r — общее их количество.



Рисунок 1 — Этапы преобразования и распознавания изображения, возмущающие воздействия, методы их компенсаций и виды возможных погрешностей измерения при измерительном контроле качества керамических изделий. Виды погрешностей: m — методические, u — инструментальные; \oplus — аддитивные; \otimes — мультипликативные; p — случайные; s — систематические. Методы компенсаций: C — статистической обработки; Φ — фильтрации; A — алгоритмические (ввод поправочных зависимостей и т.д.); ОК — объект контроля

Вследствие того, что количество традиционных этапов обработки изображений достаточно велико (см. рисунок 1) и существенно велико количество подходов, методов и алгоритмов их осуществления, для того, чтобы оценить вклад того или иного алгоритма в общую эффективность функционирования ИИСКК недостаточно использовать критерии улучшения визуального восприятия или различного рода комплексные критерии, принятые на основе критериев, используемых в инженерной практике, с различными весовыми коэффициентами [4].

Ошибки, вносимые в изображение, во-первых, накапливаются от одного прогона алгоритма обработки до другого, во-вторых вступают в сложную композицию друг с другом, так как речь идет о различных этапах преобразования изображения, и в-третьих, они трансформируются от преобразования к преобразованию. Сложность оценки погрешности вычислительного тракта с точки зрения точности контроля качества изображения и достоверности распознавания в дальнейшем дефектов керамических плиток иллюстрирует структурно-графическая модель, представленная на рисунке 2.

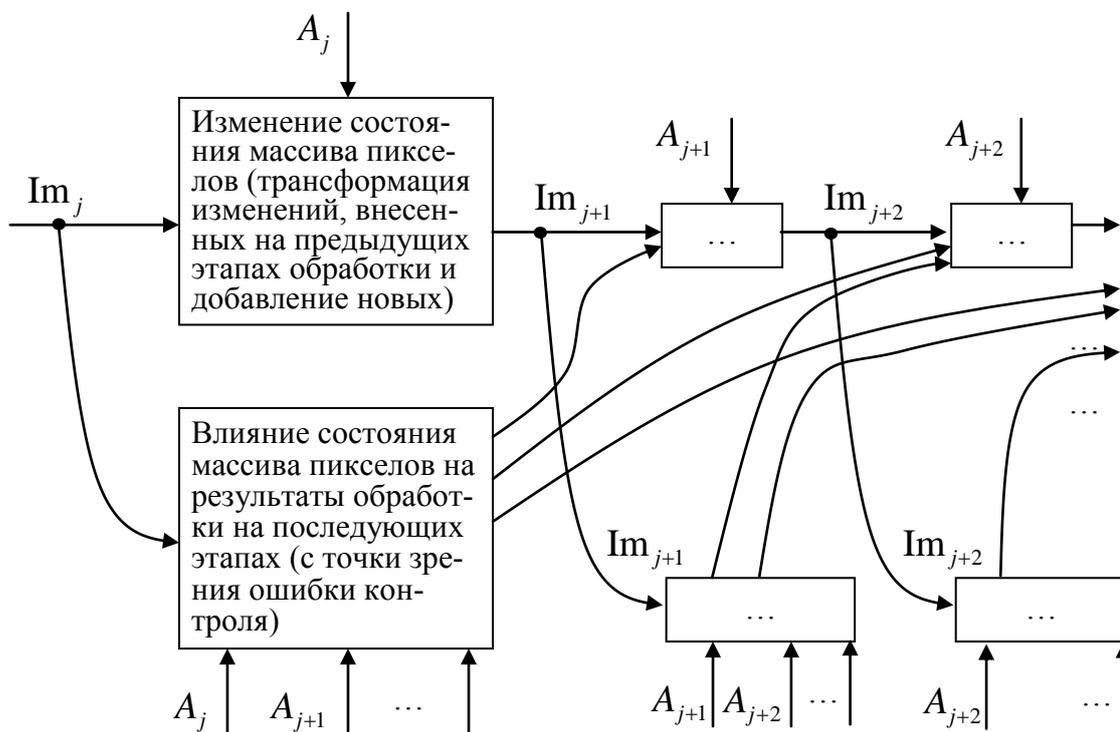


Рисунок 2 — Структурно-графическая модель оценки влияния работы вычислительного тракта ИИСКК с точки зрения надежности и достоверности измерительного контроля: Im_j — изображение керамической плитки перед j -м этапом обработки с помощью A_j алгоритма.

Более компактное представление идей, приведенных на рисунке, возможно с помощью следующих рассуждений и соответствующей формулы.

Назовем сложные процессы, протекающие в ходе обработки изображений и влияющие на результат измерительного контроля, внесением и трансформацией погрешностей. Тогда в операторной форме эти процессы должны быть представлены в виде:

$$\left\{ \bigotimes_{i=1}^n P_i^k \left\langle R_j \left\langle Im_{j-1} \right\rangle_{R_j}, \Delta^{k_{i-1}} \right\rangle_{P_i} \right\}_{k=\overline{1,m}} \rightarrow \{ x^k \}_{k=\overline{1,m}}, \quad (2)$$

где \otimes — символ композиции операторов внесения и трансформации погрешности; n — количество этапов обработки изображения; $P_i^k \langle \cdot \rangle_{P_i}$ — оператор трансформации погрешности для k -го критерия распознавания на i -м этапе обработки; $R_j \langle \cdot \rangle_{R_j}$ — оператор внесения погрешности в изображение на j -м этапе обработки; Im_j — изображение перед j -м этапом обработки; Δ^k_i — ошибка по k -му критерию распознавания, накопленная на i -м этапе обработки (Δ^k_0 означает ошибку, привнесенную из аналого-цифрового тракта измерительного канала ИИСКК); x^k — k -й составляющий множества критериев, по которым решатель принимает решение о сортности керамической плитки или принадлежности ее к браку.

Учитывая полученные результаты, для оценки погрешности от применения конкретного алгоритма обработки изображения логичнее задействовать подход, традиционный именно для систем контроля, модифицировав его соответствующим образом с учетом того, что речь идет об алгоритмах, используемых на различных этапах обработки и имеющих иерархическое влияние. На основе реализации данного подхода возможен более обоснованный с точки зрения контроля внешнего вида керамических плиток подбор близких к оптимальным (с точки зрения достоверности результатов контроля) вычислительных алгоритмов.

Для определения вклада каждого алгоритма, используемого на соответствующем этапе обработки изображения, в общую эффективность функционирования ИИСКК, определим риски изготовителя $R_{изз}$ и потребителя $R_{нотр}$ при внесении изменений в яркость (цвет) каждого пикселя после обработки изображения. Поступающий отсчет (пиксель) y , априорная вероятность появления которого P_y , трансформируется в результате воздействия соответствующего алгоритма в отсчет k .

Предположим, что полученный отсчет для данного пикселя является годным (приведет в дальнейшем к правильному результату измерительного контроля, проводимому решателем), если принадлежит множеству отсчетов для данного пикселя $y \in M_1$, и не годным, если $y \in M_2$. Эту проверку можно сделать, например, с помощью двухкомпонентной модели [5]. Тогда выражения для рисков изготовителя и потребителя можно записать таким образом:

$$R_{изз} = \sum_{y \in M_1} \sum_{y \notin M_2} p(y, k); \quad R_{нотр} = \sum_{y \notin M_1} \sum_{y \in M_2} p(y, k), \tag{3}$$

где $p(y, k)$ — вероятность совместного появления отсчетов y и k .

В этом случае:

$$p(y, k) = p(y) p(k/y) = p(y) p(\xi_{yk}), \tag{4}$$

где $p(\xi_{yk})$ — вероятность перехода отсчета y в отсчет k . Такая оценка качества функционирования алгоритмов обработки изображений с точки зрения уменьшения рисков изготовителя и потребителя является наиболее объективным критерием необходимости их использования и качества их настройки.

Результирующей погрешностью функционирования ИИСКК являются ошибки принятия решения последним звеном в цепи преобразователей в измерительном канале — решателем, принимающим решение о принадлежности обрабатываемого решения изделию, имеющему тот или иной сорт, или подлежащему отбраковке. Ошибки эти характеризуются, как

известно, платежной матрицей, определяющие потери в случае принятия того или иного решения. Понятия рисков поставщика (производителя) и потребителя базируются на вероятности ошибок 1-го рода $P_{пр.с.}$ (пропуск сигнала, т.е. отбраковка или принятие решения о более низкой сортности изделия, тогда как потребительские качества его высоки) и 2-го рода $P_{л.ср.}$ (ложное срабатывание, т.е. принятие решения о пригодности плитки при ее дефектности). На рисунке 3, приведена обобщенная схема взаимодействия адаптивной ИИСКК, в которой $P_{пр.с.}$ и $P_{л.ср.}$ являются элементами обратной связи между решателем, производящем принятие решение о сортности (или поддержку принятия этого решения) на основе вектора X параметров, характеризующих изображение контролируемого изделия. На основе изучения учета соотношения $P_{пр.с.}$ и $P_{л.ср.}$ информационно-вычислительная подсистема ИИСКК может принять решение о своей параметрической или алгоритмической перестройке для обеспечения приемлемых рисков потребителя или поставщика. Проведенные автором экспериментальные исследования на предприятиях отрасли показывают, что в реальных производственных условиях риском поставщика, базирующегося на $P_{пр.с.}$, практически можно пренебречь, а вот риск этот, базирующийся на $P_{л.ср.}$ варьируется от 2,2 до 0,0057 (у.е./шт.).

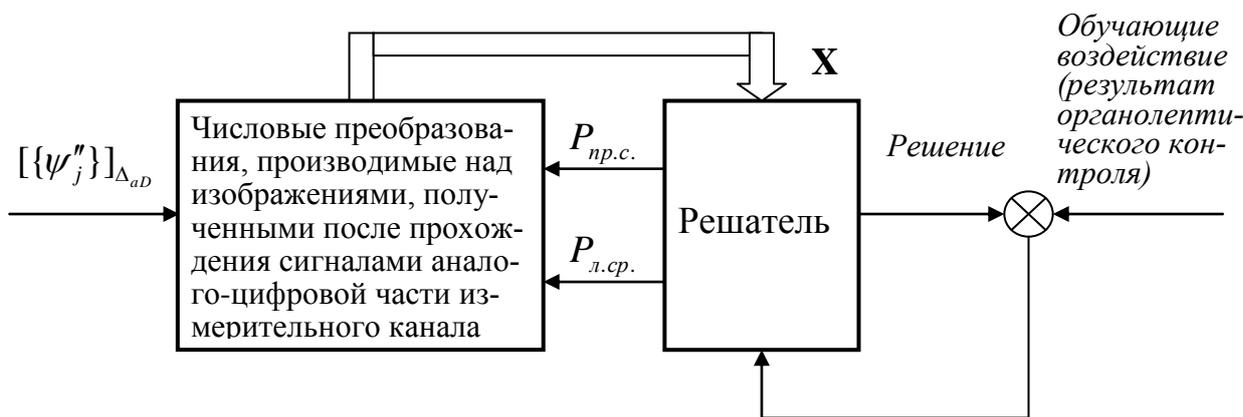


Рисунок 3 - Обобщенная схема взаимодействия адаптивной ИИСКК с элементами обратной связи по $P_{пр.с.}$ и $P_{л.ср.}$ между решателем и информационно-вычислительной частью

Решатель, в свою очередь, может быть как традиционным (организованным в виде, реализующем алгоритмическое обеспечение принятия решения на основе максимума функции правдоподобия и геометрического расстояния между вектором контролируемых признаков и векторов признаков эталона, или же в виде нейронной сети, гибридной нечетко-нейронной системы, экспертной системы на основе нечеткой логики или экспертной системы на правилах продукции). Вместе с тем необходимо провести оценку вероятности принятия правильного решения в ходе измерительного контроля с помощью такого решателя на основе вектора признаков изображения, по которым определяется бракованность или принадлежность к сортности керамической плитки с соответствующей совокупностью дефектов поверхности. На рисунке вероятности $P_{пр.с.}$ и $P_{л.ср.}$ являются апостериорно определяемыми величинами, так как зависят и от алгоритма работы решателя, и от качества (надежности, точности) определения входного вектора решателя. Общие принципы построения решающего правила для простого случая решателя таковы:

$$F_b = \max_{1 \leq a \leq \Omega} \prod_{i=1}^n p_a(x_i), \quad (5)$$

где F_b — функция правдоподобия для измеренных значений вектора \mathbf{X} , $a = \overline{1, \Omega}$ — класс эталонных значений \mathbf{X} , $p_a(x_i)$ — плотность вероятностей распределения результатов измерения компонентов \mathbf{X} .

Выводы.

1. В статье проведена оценка и предложена модель внесения и трансформации погрешностей (помех), привносимых в значения яркости различных пикселов или их комплексов, возникающих в результате применения тех или иных алгоритмов и подходов, используемых при обработке изображений. Изменения яркости (цвета) пикселов и их комплексов в ходе сглаживания изображения или, наоборот, контрастирования, могут приводить как к повышению риска потребителя или поставщика (вследствие ошибок 1-го и 2-го рода), так и к их снижению. Это обстоятельство необходимо учитывать при отборе алгоритмов обработки и при настройке их параметров. Предложена модель влияния на риски потребителя и поставщика алгоритмов обработки изображений.

2. При необходимости адаптации ИИСКК к конкретной технологической ситуации предложено использовать разработанную ранее [5] двухкомпонентную модель изображения керамической плитки с дефектами, параметры которой отображают улучшение/ухудшение промежуточного состояния изображения на данном этапе обработки. Определение направления и шага изменения параметров выбранных для обработки изображения алгоритмов должны основываться на интегральном коэффициенте качества изображения, принятом автором на основе общепринятых инженерных критериев [4] с использованием экспериментально подобранных весовых коэффициентов и двухкомпонентной модели изображения керамической плитки.

3. Направлением дальнейших разработок является исследование оценки составляющих ошибки контроля, вносимых решателем, функционирующем на основе анализа диагностических признаков по результатам распознавания дефектов поверхности плитки и оценки их геометрических параметров и использующем различные подходы к принятию решения.

Литература

1. Гетьман И.А., Зори А.А. Модель оценки качества керамического изделия при помощи фотоэлектрической информационно-измерительной системы // Наукові праці ДонНТУ. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. Випуск 58. — Донецьк: Вид-во ДонНТУ, 2003. — С. 42–47.
2. Гетьман И.А. Измерительный канал информационно-измерительной системы контроля качества керамических изделий // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. — 2003. — №1. — С. 101–104.
3. Гетьман И.А. Измерительный канал информационно-измерительной системы контроля качества керамических изделий // Вісник Технологічного університету Поділля. — 2004. — №2. — Ч.1, Т.1(60). — С. 150–154.
4. Васильев В.И. Распознающий системы. Справочник. — К.: Наукова думка, 1983. — 422 с.
5. Гетьман И.А. Алгоритмическое обеспечение подсистемы распознавания дефектов при автоматизированном контроле качества керамических изделий // Наукові праці ДонНТУ. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. Випуск 74. — Донецьк: ДонНТУ, 2004. — С. 386–390.
6. Кузьмин И.В., Кедров В.А. Основы теории информации и кодирования. — К.: Вища школа, 1986. — 345 с.
7. Оппенгейм А.В., Шафер В.В. Цифровая обработка сигналов. — М.: Связь, 1979. — 415 с.