

Представленные результаты являются срединными; граница выделенной допустимой области задается последней строкой таблицы 1. Дополнительные расчеты показали, что уменьшение или увеличение вероятности  $P_{\text{дост}}$  сопровождается соответствующим активным расширением или сужением допустимой области. В то же время эффект от применения триплетов со значениями  $t_i \leq 4$  ( $d_i = 9$ ) невысок – наблюдается лишь незначительное расширение допустимой области.

УДК 004.932.2

## РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ КЕРАМИЧЕСКОЙ ПЛИТКИ ПРИ ЕЁ ДВИЖЕНИИ ПО КОНВЕЙЕРУ

*Лозовский В.Э., Мацукевич В.Ю., Лившиц Ю.Е.*  
Белорусский национальный технический университет,  
Минск, Республика Беларусь

На сегодняшний день важнейшей из проблем при производстве керамической плитки является проведение разгрузочно-упаковочных работ. В силу принципа упаковки готовых изделий и устройства печи обжига выходной поток плиток с роликового печного конвейера переходит под прямым углом на ленточный разгрузочный конвейер с последовательным расположением плиток.

В процессе продвижения плиток в печи, покрытых слоем глазури, возникает их слипание между собой. Изменение загруженности печи и динамика температуры в ней приводит к поверхностной деформации конвейерных роликов. Так же в процессе обжига плитки происходит её усадка в размерах, что приводит к повороту плитки в потоке. На выходе из печи располагается разгрузочный конвейер, в ходе движения к которому возможны сильный поворот и налегание плиток друг на друга. Эти условия создают аварийные состояния, приводящие к заклиниванию оборудования.

Для решения задачи детектирования аварийных ситуаций была разработана система технического зрения, отслеживающая состояние передвижения плитки. Работа системы была описана в [1]. Основной работы системы контроля потока движения керамической плитки является программное обеспечение, осуществляющее обработку изображений, описанное в данной работе. В процессе работы системы анализируется состояние конвейера в момент подхода плитки к стопорному ножу (смотри рисунок 1).

Алгоритм анализа изображения основан на ряде математических операций:

- выделение на изображении области интереса;
- компенсация неравномерности освещённости;
- выделение краёв плитки, основанное на дискретном косинусном преобразовании;
- пороговая бинаризация и связывание пикселей в объекты;
- анализ геометрических параметров связанных областей;
- выдача результата обработки.



Рисунок 1 – Рабочий кадр, захваченный в момент формирования ряда

Из снимка выделяется область интереса – сформированный ряд. Это делается с целью уменьшения вычислительной нагрузки, а так же для исключения влияния посторонних факторов на автоматический процесс подбора параметров, необходимых для операций фильтрации и бинаризации. Выделенная область, используемая в дальнейшей обработке, представлена на рисунке 2,а.

Для определения наличия и характера неравномерности интенсивности использован подход с применением моделей интенсивности. На основании оценки модели опробуются различные уравнения пространственной коррекции освещения.

При исследовании проблемы коррекции были опробованы различные уравнения модификации пространственного распределения яркости. Наиболее эффективными функциями в отношении ослабления влияния источников освещения показали себя функции вида (1)

$$I(i) = \frac{I_0(i)}{1 + K_1 * \cos\left(i * \frac{\pi}{K_2}\right)}, \quad (1)$$

где  $i$  – порядковый номер пикселя в строке матрицы интенсивности,  $I$  – интенсивность пикселя после процедуры коррекции,  $I_0$  – исходная интенсивности пикселя,  $K_1, K_2$  – весовые коэффициенты, устанавливаемые в ходе эксперимента.

Последующим этапом обработки изображения является выделение краёв. На начальном стадии поиска решения данного вопроса был опробован ряд зарекомендовавших себя в задачах выделения краёв универсальных методов [2]:

- фильтрация изображения оператором Собеля;
- детектор границ Кэнни;
- фильтрация изображения фильтром LoG (Laplacian of Gaussian).

Неустойчивость к шуму вследствие проблем, возникающих при естественном освещении на первых этапах эксперимента (тени, изменения светового потока в течение дня и др.), приводила в итоге к неудовлетворительным результатам работы системы в целом. С учётом вышесказанного был разработан метод выделения границ на основе дискретного косинусного преобразования Фурье с использование плавного усиления. В результате было получено изображение (представлено на рисунке 2,в).

Дальнейшим этапом является бинаризация изображения методом Отса [3] с целью выделения граничных элементов и отсеиванию промежуточных. Результат процедуры бинаризации продемонстрирован на рисунке 2, г.

Для связывания пикселей в работе использована восьмисвязность в виду необходимости плотного соединения пикселей в регионы. Затем регионы анализируются как цельные объекты для подсчёта их геометрических характеристик. Геометрическими характеристиками, используемыми при анализе, являются координаты центра масс, длина максимальной оси инерции, ориентация и количество пикселей в объекте.

Из рассмотрения исключаются области, имеющие минимальную ось инерции менее 25 пикселей, что соответствует шумам на изображении. Таким образом, результирующее изображение имеет вид, отраженный на рисунке 2, д.

Дальнейшему анализу поддается ориентация линий. При отклонении линии более чем на 10 градусов относительно вертикали программа выдаёт сигнал на вход модуля дискретного канального ввода/вывода.

Результат работы системы был оценен в течение двух суток с учётом восхода солнца, чтобы полностью исключить влияние естественного вмешательства Солнца. Первый период включал в себя работу системы с 23:00 до 6:00. За это время было проанализировано 2656 снимков на предмет правильного формирования ряда у стопорного ножа. Второй период охватывал время с 1:00 до 5:00 следующего дня. За время второго периода было проанализировано 1340 кадров.

В этом интервале времени (2656 и 1340 снимков) ошибка детектирования возникла 13 раз (3 и 10 раз за описанные периоды соответственно), что соответствует весу ошибки в 0.3253%. То есть каждые 308 кадров (примерно 1 раз в час). Столь точный результат оправдывает разработку системы контроля в полной мере.

Области интересов рабочих кадров для аварийного и неаварийного состояния и результат работы алгоритма представлены на рисунке 3.

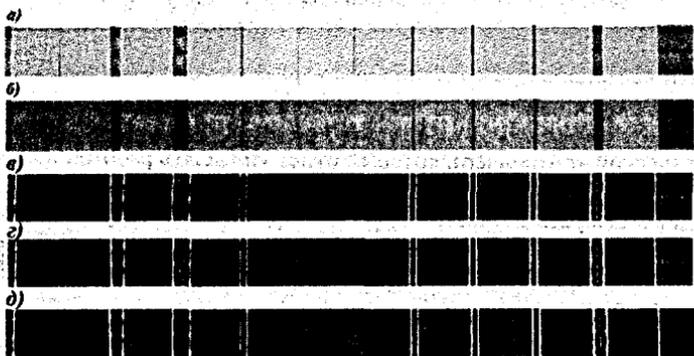


Рисунок 2 – Область интереса исходного кадра (а); результат корректирования интенсивности (б); результат дискретного косинусного преобразования Фурье (в); результат бинаризации (г); результирующее изображение (д)

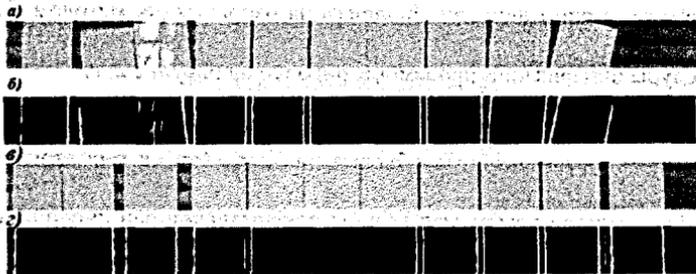


Рисунок 3 – Область интереса с рабочего кадра при аварийном повороте плиток (а) и результат обработки (б). Область интереса с рабочего кадра при корректном расположении плиток (в) и результат обработки (г)

### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Лозовский, В.Э. Система технического зрения для детектирования аварийных ситуаций на разгрузочном конвейере керамической плитки / В.Э. Лозовский, Р.В. Новичихин. – Минск: Сборник 70 СНТК 2014 (в печати).
2. Гонзалес, Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонзалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2006. – 1072 с.
3. Otsu, N. A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. – 1979. – Vol. 9, no. 1. – P. 62-66.

УДК 004.42

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЗЕРНООЧИСТИТЕЛЬНО-СУШИЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

*Швед А.А., Здор Г.Н.*

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

Задачей является разработка системы управления для контроля и управления технологическим процессом очистки, сушки и хранения зерна.

Для этих целей необходимо выбрать управляющий элемент (программируемый логический контроллер), который будет управлять работой всего оборудования (конвейеры, нории, задвижки и т.д.) и обрабатывать показания датчиков. Необходимо выбрать датчики и другое оборудование для управления данным технологическим процессом. Также следует создать алгоритм работы контроллера и написать программу для автоматического контроля и управления работой комплекса.

Для диспетчеризации ручного и автоматического управления необходимо разработать SCADA-систему, которая, взаимодействуя с контроллером, сможет осуществлять управление технологическим процессом, средства сигнализации для обеспечения оперативной реакции дежурного персонала на возникновение аварийных и нестандартных ситуаций. Внедрение SCADA-системы долж-