

УДК 622.647.2

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ОТКЛОНЕНИЯ ЛЕНТЫ  
ШАХТНОГО КОНВЕЙЕРА НА ОСНОВЕ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ**

**Тайхуа Ван, Чжэн Дун, Цзяци Лю**

*Институт электротехники и автоматизации в области химии,  
Хэнаньский политехнический университет,  
E-mail: 9567551@qq.com, 460757110@qq.com, 454000, г. Цзяоцзо, Китай*

Разработана и экспериментально проверена трехуровневая система корректировки отклонения ленты шахтного конвейера на основе машинного зрения. Результаты экспериментов показали, что данная система способна эффективно выявлять случаи отклонения ленты и управлять системой корректировки, которая обладает высокой эффективностью и быстрой скоростью работы. Исследовано увеличение резкости видеоизображения шахтного конвейера, функционирующего в условиях сильной угольной запыленности.

*Ленточный конвейер, машинное зрение, отклонение ленты конвейера, обнаружение отклонения, увеличение резкости видеоизображения*

DOI: 10.15372/FTPRPI20210419

В процессе угледобычи шахтный ленточный конвейер используется для транспортировки большого объема угля с околоствольного двора на поверхность, в ходе чего могут возникать различные отказы. Среди отказов наиболее частым является случай отклонения ленты от оси конвейера. При этом большое количество угля падает с края ленты, что значительно снижает производительность работы и представляет угрозу безопасности рабочим, находящимся возле линии конвейера [1–2].

Алгоритм машинного зрения, который анализирует пиксели требуемого участка изображения, — эффективная разработка, которая постоянно совершенствуется. Библиотека OpenCv содержит большое количество алгоритмов машинного зрения и обработки изображений, способных быстро и эффективно собирать, обрабатывать и анализировать изображения [3]. Такие технологии, как сеть пятого поколения (5G) и искусственный интеллект (ИС), становятся все более значимыми при разработке цифровых шахт, в которых используются системы обнаружения и корректировки отклонения ленты конвейера на основе машинного зрения [4–8].

Традиционная система обнаружения отклонения ленты конвейера использует датчик контактного типа. Основными недостатками такого датчика являются сложность установки, слабая чувствительность и высокая стоимость. Предлагаемая система обнаружения отклонения ленты конвейера на основе машинного зрения использует видеокамеру для захвата изображений, а для их обработки — сборную библиотеку Python OpenCv и преобразование Хафа. Обработка видеоизображения заключается в удалении угольного тумана, повышении резкости

и в выделении краев ленты. После обработки видеоизображения данные отправляются на программируемый логический контроллер (ПЛК) для управления устройством корректировки ленты конвейера [9, 10].

### СТРУКТУРНАЯ СХЕМА

Система обнаружения отклонения ленты конвейера на основе машинного зрения включает захват видеоизображения, его обработку и действие исполнительного устройства. Система захвата фиксирует изображение с помощью видеокамеры и отправляет его по оптоволоконному кабелю на компьютер производственного управления, который находится в диспетчерской. Полученное видеоизображение обрабатывается технологией машинного зрения, в результате чего повышается его резкость и определяется положение ленты конвейера в режиме реального времени. При превышении допустимого уровня отклонения ленты конвейера на устройство корректировки отправляется сигнал к действию, а также оповещается персонал [11]. На рис. 1 показана структурная схема системы корректировки ленты конвейера на основе машинного зрения.

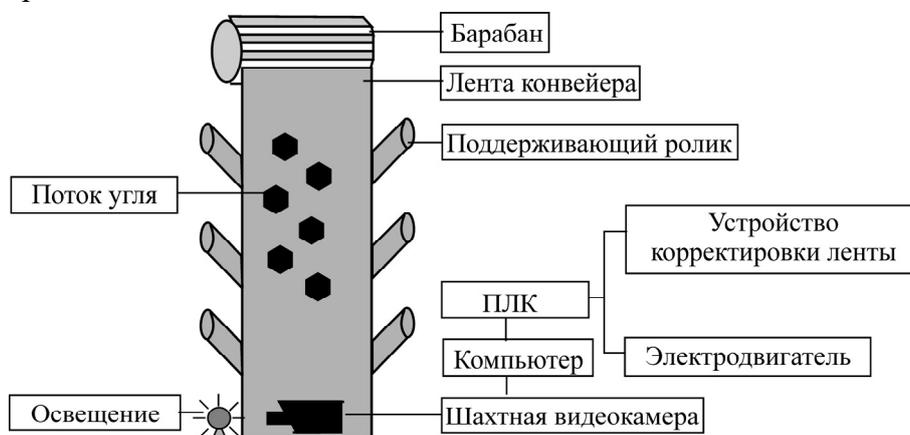


Рис. 1. Структурная схема системы корректировки ленты конвейера

Устройство корректировки состоит из трех подсистем. Первая подсистема включает несколько поддерживающих роликов с двумя степенями свободы, зафиксированных на раме; вторая подсистема — механизм регулировки натяжения, который закреплен на барабане; третья подсистема — электродвигатель для корректировки. Поддерживающий ролик управляется шаговым двигателем и способен перемещаться вверх, вниз, влево и вправо по направляющей рельсе, т. е. может вращаться в плоскости поперечного сечения и в вертикальной плоскости. Отклонение ленты конвейера корректируется положением поддерживающего ролика. Механизм регулировки натяжения определяет натяжение ленты конвейера за счет изменения горизонтального положения натяжного барабана. Так как лента имеет значительное натяжение, она будет смещаться в сторону большего натяжения. Смещение натяжного барабана в сторону меньшего натяжения выравнивает натяжение ленты на обеих сторонах, так реализуется корректировка отклонения ленты конвейера [12–15].

### ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЯ

В процессе транспортировки угля с помощью конвейера из-за большого количества распыленных частиц образуется угольный туман, который снижает резкость видеоизображения, полученного с видеокамеры. На видеоизображение также негативно влияет недостаточное и неравномерное освещение в транспортной выработке. Таким образом, первым шагом является

предварительная обработка полученного видеоизображения. Традиционный метод повышения резкости основан на алгоритме выделения черного цвета, который эффективно убирает туман с изображения. В реальных условиях видеоизображение из шахты бывает черно-белым, и обработка выделением черного цвета не оказывает значительного влияния. В настоящей работе в алгоритм выделения черного цвета добавлено вейвлет-преобразование, в результате чего достигается лучшая резкость изображения [16]. На рис. 2 представлен алгоритм обработки изображения.

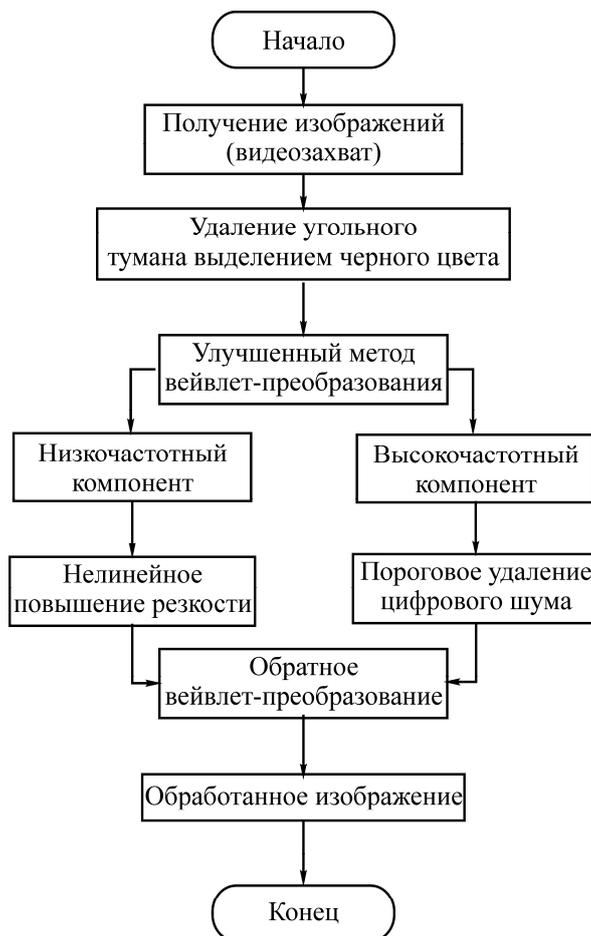


Рис. 2. Алгоритм повышения качества изображения с шахтной камеры на основе улучшенного вейвлет-преобразования

Зададим модель видеоизображения работающего конвейера:

$$I(x) = J(x)t(x) + G(1 - t(x)), \tag{1}$$

где  $I(x)$  — изображение с повышенной резкостью;  $J(x)$  — изображение без угольного тумана;  $G$  — фоновое освещение, значение которого известно для видеоизображения;  $t$  — индекс преломления (коэффициент светопропускаемости атмосферы).

Индекс преломления рассчитывается исходя из выделения черного цвета в изображении:

$$J^{dark}(x) = \min_{y \in \Omega(x)} \left( \min_{c \in \{r, g, b\}} J(y) \right), \tag{2}$$

$\Omega(x)$  — область расположения пикселя  $x$ ;  $\{r, g, b\}$  — цветовая характеристика пикселя  $x$ ; и  $J(y)$  — цветовой канал пикселя  $x$ .

Основной принцип выделения черного цвета имеет вид

$$J^{dark}(x) \rightarrow 0, \quad (3)$$

$$\tilde{t}(x) = 1 - \omega \min_{y \in \Omega(x)} \left( \min \left( \frac{I(y)}{G} \right) \right). \quad (4)$$

Значение  $\omega$  находится в диапазоне  $[0, 1]$  и обычно составляет 0.95. В настоящей работе принято значение 1 из-за особенной среды угольной шахты. После подстановки фонового освещения  $G$ , индекса преломления  $t$  и величины  $\omega$  в уравнение (1) имеем:

$$J(x) = \frac{I(x) - G}{\max(t(x) - t_0)} + G. \quad (5)$$

Так как конвейер работает в темной среде, некоторые черные части видеоизображения будут выделены слишком сильно. Необходимо установить пороговое значение  $t_0$  для ограничения амплитуды экспозиции (выделения черного цвета). В результате получим изображение без угольного тумана, которое все еще довольно нечеткое и требует обработки алгоритмом вейвлет-преобразования для повышения резкости.

Вейвлет-преобразование заключается в разделении сигналов изображения на две части: высокочастотные компоненты и низкочастотные. Благодаря различной обработке сигнальных компонентов, обнаруживаются их различия и детали; структурируется иерархия элементов изображения и повышается резкость.

Для повышения резкости изображения вейвлет-преобразованием необходимо удалить угольный туман путем выделения черного цвета:

$$WT(a, \tau) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \psi \left( \frac{x - \tau}{a} \right) dx, \quad (6)$$

где  $a$  — параметр масштаба, обозначающий расширение и сжатие вейвлет-функции;  $\tau$  — параметр сдвига вейвлет-функции;  $WT(a, \tau)$  — функция вейвлет-преобразования функции  $f(x)$ ,

$$f(x) = \sum_n A_{j-1} \phi_{n,j-1}(x) + \sum_{j=0}^{L-1} \sum_n D_{n,j} \phi_{n,j}(x), \quad (7)$$

здесь  $\phi$  и  $\varphi$  — масштабная и вейвлет-функция после выделения черного цвета, позволяющая получить низкочастотный компонент  $A_{j-1}$  и высокочастотный компонент  $D_{n,j}$ ;  $n$  — масштабный коэффициент;  $j$  — количество масштабных слоев;  $L$  — максимальный масштаб. В данном методе изображение разделяется трехуровневым вейвлет-преобразованием, где низкочастотный компонент  $A_{j-1}$  отвечает за нелинейное улучшение качества, а высокочастотный компонент  $D_{n,j}$  — за пороговое удаление фона.

На рис. 3 показано разделение компонентов изображения на высокочастотные и низкочастотные после трех вейвлет-преобразований, которые представляют детали наклонного, горизонтального, вертикального компонентов, а также общие детали. Усовершенствованы вейвлет-коэффициенты деталей изображения различных компонентов, после обратного вейвлет-преобразования получено изображение требуемого качества.

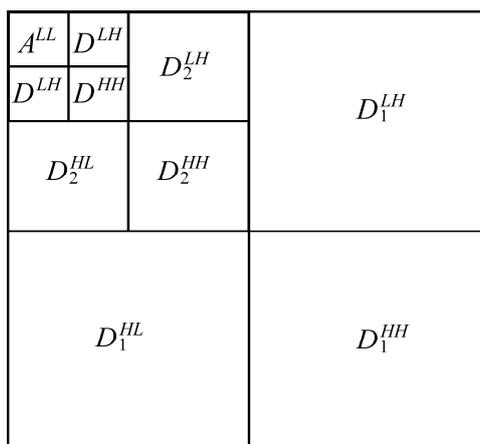


Рис. 3. Трехуровневое вейвлет-разделение

В библиотеке OpenCv содержится большое количество алгоритмов обработки изображений машинным зрением. После выбора необходимого алгоритма с видеоизображения удаляется угольный туман и повышается его резкость.

**АЛГОРИТМ ОБНАРУЖЕНИЯ ОТКЛОНЕНИЯ**

Сначала необходимо получить изображение при нормальной работе конвейера относительно фоновых границ. В качестве участка интереса выбирается фиксированная область на обеих сторонах ленты конвейера, подтверждающая устойчивое положение камеры без смещения, таким образом калибруется положение ленты конвейера относительно фоновых границ. Затем собирается видеопоток с различных участков и рассчитывается разница области интереса относительно фоновых границ.

Обнаружение отклонения ленты выполняется по следующему алгоритму [17–20]:

- определяется приблизительное положение края ленты конвейера на участке интереса;
- фиксируются края конвейера в режиме реального времени;
- используется линейный алгоритм обнаружения для исключения влияния фона позади конвейера;
- выделяется точное положение края ленты конвейера;
- сравнивается положение края ленты конвейера с откалиброванным значением;
- определяется положение центральной оси ленты конвейера и ее краев в режиме реального времени;
- выявляется отклонение ленты конвейера.

Для обнаружения края ленты и более точного расчета градиента изображения и амплитуды смещения края ленты применяется алгоритм обнаружения приблизительного края из библиотеки OpenCv.

Процесс обнаружения края ленты разделен на четыре этапа. Сначала изображение подвергается фильтрации и повышению контрастности. Затем проводится расчет градиента амплитуды и угла каждого пикселя. Далее осуществляется ослабление немаксимальных градиентов амплитуды. В результате определяется изображение края ленты конвейера двойным пороговым методом:

$$G_x(x, y) \approx \frac{S(x, y+1) - S(x, y) + S(x+1, y-1) - S(x+1, y)}{2}, \tag{8}$$

$$G_y(x, y) \approx \frac{S(x, y) - S(x+1, y) + S(x, y+1) - S(x+1, y+1)}{2}, \quad (9)$$

где  $G_x(x, y)$  — горизонтальный градиент пикселя;  $G_y(x, y)$  — вертикальный градиент пикселя;

$$P(x, y) = \sqrt{G_x^2(x, y) + G_y^2(x, y)}, \quad (10)$$

$$\theta(x, y) = \tan^{-1} \left( \frac{G_y(x, y)}{G_x(x, y)} \right), \quad (11)$$

$P(x, y)$  — градиент амплитуды пикселя;  $\theta(x, y)$  — угол пикселя.

После расчета градиента амплитуды и угла пикселей получено бинарное изображение края ленты конвейера. Прямые линии на обоих краях ленты конвейера отчетливо видны, но также отмечается наличие цифрового шума (рис. 4а). Следующий шаг заключается в удалении шума и получении только линий, обозначающих края ленты конвейера.

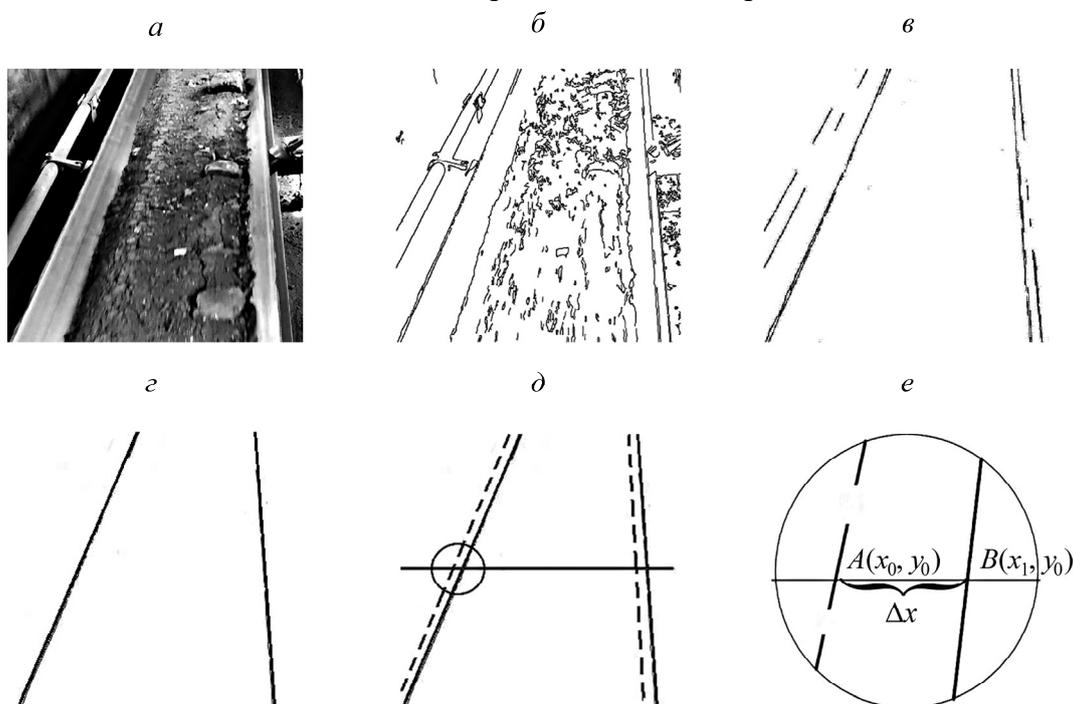


Рис. 4. Определение отклонения ленты конвейера на основе анализа изображений: а — изображение работающего конвейера; б — приблизительное определение краев ленты; в — выявление линий преобразованием Хафа; г — выделение линий, обозначающих края ленты конвейера; д — определение смещения ленты; е — определение отклонения

Преобразование Хафа является распространенным методом обработки изображения, которое применяется для выделения характерных участков на изображении и обнаружения линий, кругов и эллипсов. В настоящей работе преобразование Хафа использовано для получения прямых линий, обозначающих края ленты работающего конвейера, без влияния цифрового шума.

В пространстве изображения уравнение линии края ленты конвейера, обозначенное через координаты  $x-y$ , имеет следующий вид:

$$y = kx + b, \quad (12)$$

где  $x, y$  — двумерные координаты пикселей на линии края ленты конвейера;  $k$  — угловой коэффициент линии края конвейера;  $b$  — отсекаемый отрезок края ленты.

Параметрическое уравнение определено через точку с координатами  $(x_0, y_0)$  на прямой линии:

$$b = -kx_0 + y_0. \quad (13)$$

Линия в пространстве изображения соответствует линии в параметрическом пространстве, которое преобразуется в полярную систему координат:

$$r = x_0 \cos \theta + y_0 \sin \theta, \quad (14)$$

здесь  $r$  — радиусная координата в полярной системе координат;  $\theta$  — угловая координата в полярной системе координат.

Каждая точка  $(r, \theta)$  в параметрическом пространстве соответствует прямой линии в пространстве изображения, или точка в пространстве изображения соответствует кривой в параметрическом пространстве. В параметрическом пространстве полярная система координат используется таким образом, чтобы все линии из исходного пространства можно было представить в параметрическом пространстве. Коллинеарные точки в плоскости системы координат выявляются при соблюдении условия, что количество пересекающихся кривых превышает установленное пороговое значение. Каждая коллинеарная точка формирует соответствующий сегмент линии, в результате чего увеличивается изображение прямого сегмента линии (рис. 4*в, з*).

После удаления шума фиксируются линии краев ленты конвейера, где левая линия выделяется при рассмотрении левого края конвейера как участка интереса. Сначала калибруются линейные координаты пикселей; видеоизображение нормальной работы ленты конвейера принимается за эталонное, после чего выполняется видеосъемка каждого участка конвейера. Отклонение ленты конвейера определяется разницей между координатой края ленты в отклоненном состоянии и координатой края ленты в эталонном (нормальном) состоянии. Черные сплошные линии на рис. 4 обозначают фактические края ленты конвейера, штриховые — края ленты конвейера в эталонном состоянии относительно фоновых границ. Случай отклонения ленты конвейера от нормального положения показан на рис. 4*е*.

Построим горизонтальную прямую с координатой  $y = y_0$ , тогда она будет пересекать линии нормального и фактического положения ленты в точках  $A(x_0; y_0)$  и  $B(x_1; y_0)$  соответственно. При отклонении ленты конвейера черная линия горизонтально смещается относительно штриховой на величину  $\Delta x$  ( $\Delta x = x_1 - x_0$ ) (рис. 4*е*). Отклонение ленты конвейера  $Q$  рассчитывается через соответствующее соотношение между пиксельным расстоянием и фактическим:

$$Q = k \Delta x. \quad (15)$$

Пусть фактическая ширина ленты конвейера составляет 800 мм, а пиксельная ширина 120 ppi при нормальной работе конвейера, тогда  $k = 120 / 800 = 0.15$ .

При отклонении ленты конвейера более 50 мм от нормального положения включается первый уровень устройства корректировки, при превышении отклонения 100 мм включается второй уровень, а при превышении 200 мм конвейер останавливается. Контроль отклонения ленты шахтного управления осуществляется трехуровневым устройством корректировки, которое значительно сокращает потери времени, вызванные отклонением ленты, и повышает производительность транспортировки угля.

#### ЭКСПЕРИМЕНТ И АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

Программное обеспечение (ПО) анализа видеоизображения написано на языке Python и размещено в управляющем компьютере. Для соединения компьютера с каждой камерой применяется оптоволоконный кабель, для захвата видеопотока и его обработки — библиотека

OpenCv, для реализации интерфейса программного обеспечения используется библиотека Tkinter, для управления программируемым логическим контроллером и устройствами коррективки — библиотека snap7 и протокол Ethernet TCP/IP. Учитывая неустойчивых характер видеоизображения, необходимо подтверждение оператора управляющего компьютера для отправки сигнала на программируемый логический контроллер. На рис. 5 представлен интерфейс ПО видеонализа на управляющем компьютере.

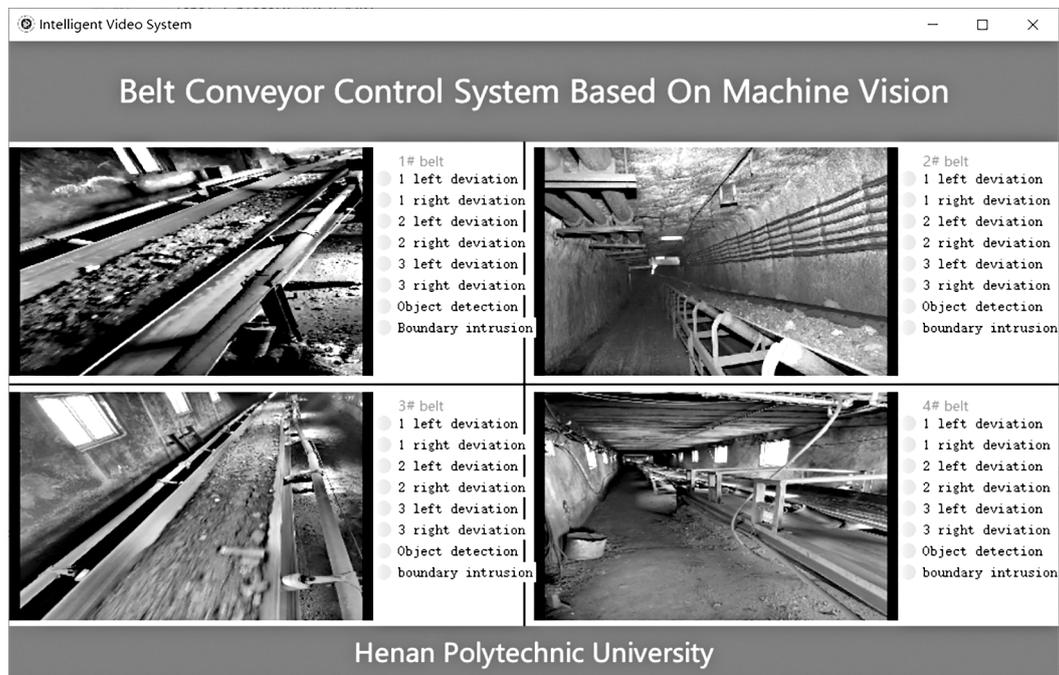


Рис. 5. Интерфейс программного обеспечения для видеомониторинга работы конвейера

На интерфейс программного обеспечения выведен видеопоток с четырех взрывозащитных камер и текущий статус каждого участка ленты конвейера на транспортировочной линии. Помимо обычного видеомониторинга, ПО имеет функцию обнаружения отклонения ленты первого, второго и третьего уровня, посторонних объектов и нарушения границы.

Для системы видеозахвата использована шахтная взрывозащищенная видеокамера, производителем которой является Китайская угольная группа. Во взрывозащищенном корпусе находится CMOS камера (марка Hikvision), способная эффективно проводить видеосъемку работающего конвейера в режиме реального времени. Данная камера подходит для эксплуатации в подземных условиях при угрозе взрыва угольной пыли или газа. Режим ночной съемки и инфракрасный режим позволяют повысить качество изображения в условиях недостаточного освещения.

В лабораторных условиях воссоздана работа шахтного конвейера. Механическая часть состоит из кронштейна, поддерживающего ролика, натяжного барабана и ленты конвейера. В систему управления входят различные датчики, устройства коррективки, моторы, преобразователи частоты и программируемые логические контроллеры (марка Siemens). Система видеонализа включает камеру и ПО на управляющем компьютере. Отклонение ленты осуществляется нажатием кнопки. Для обнаружения отклонения использованы датчики отклонения и методы распознавания видеоизображения. На рис. 6 представлено сравнение результатов, полученных двумя методами, которые практически одинаковы.

В угольной шахте Ляуан девять ленточных конвейеров оборудованы системой корректировки отклонения на основе машинного зрения. В качестве устройства видеозахвата используется шахтная видеокамера, рядом с которой оборудован источник света. Управляющий компьютер осуществляет обработку видеоизображения для мониторинга работы ленточного конвейера в режиме реального времени. На управляющем компьютере можно видеть видеоизображение работы конвейера без влияния угольного тумана, наблюдать и фиксировать отклонения, а также отслеживать время корректировки отклонения ленты конвейера.

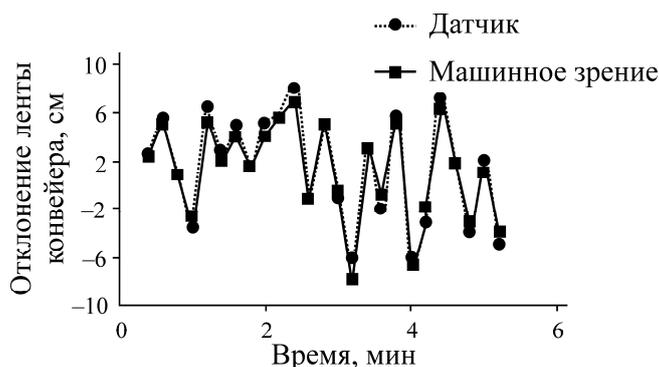


Рис. 6. Отклонения ленты конвейера, полученные с помощью машинного зрения и контактного датчика

Согласно таблице, время корректировки отклонения ленты конвейера на основе машинного зрения составляет менее 4.6 с, а максимальная разница между отклонением, выявленным с помощью машинного зрения, и отклонением, зафиксированным датчиком, составляет 0.4 см.

Отклонение и время корректировки исследуемых конвейеров

Номер конвейера	Длина, м	Отклонения, полученные машинным зрением, см	Отклонения, полученные датчиком, см	Время корректировки, с
1	350	3.2	3.3	2.7
2	200	7.8	7.9	2.6
3	150	5.5	5.5	2.5
4	300	3.6	3.6	3.0
5	400	4.5	4.7	4.6
6	300	13.5	13.9	3.6
7	200	8.3	8.5	2.5
8	300	5.2	5.4	2.7
9	700	9.4	9.8	3.9

Таким образом, данная система способна быстро и эффективно обнаруживать отклонения ленты конвейера, управлять устройством корректировки и следить за стабильной работой конвейера, что позволит сократить простои оборудования и повысить транспортировочную эффективность. Система корректировки отклонения ленты конвейера, основанная на машинном зрении, обладает достаточной управляемостью и предсказуемостью и может использоваться в реальных условиях.

## ВЫВОДЫ

Разработана система обнаружения отклонения ленты шахтного конвейера на основе машинного зрения. В данной системе традиционный датчик отклонения контактного типа заменен на систему анализа видеоизображения, которая является более эффективной и обладает высоким потенциалом к автоматизации. Для решения проблемы негативного влияния угольного тумана на качество изображения предложен метод обработки видеоизображения, сочетающий выделение черного цвета и вейвлет-преобразование, что позволяет убрать угольный туман и значительно повысить резкость видеоизображения. Благодаря обработке видеоизображения повышается эффективность обнаружения отклонения ленты конвейера. Устройство способно регулировать положение ленты конвейера при различном уровне ее отклонении в режиме реального времени, что значительно сокращает время корректировки и заменяет ручную регулировку.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Zhang Yan-fei.** Design and application of deviation correction device for belt conveyor, *Mech. Management and Development*, 2019, Vol. 34, No. 9. — P. 70–71.
2. **Qin Lianjun.** Belt conveyor common fault analysis and treatment methods, *Coal Technology*, 2009, Vol. 28, No. 8. — P. 18–20.
3. **Gao Rui, Miao Changyun, Miao Di, and Li Xianguo.** Multi-view image adaptive enhancement method for conveyor belt fault detection, *J. of China Coal Society*, 2017, Vol. 42, No. S2. — P. 594–602.
4. **Wang Guofa, Ren Huaiwei, Pang Yihui, Cao Xiangang, Zhao Guorui, Chen Hongyue, and Du Yibo.** Research and engineering progress of intelligent coal mine technical system in early stages, *Coal Sci. and Technol.*, 2020, Vol. 48, No. 7. — P. 1–27.
5. **Hu Eryi, Li Mengya, Wang Yiran, Lyu Donghan, and Sun Yizhuang.** Research on dust removal method for vision system of coal mine robot, *Coal Sci. and Technol.*, 2020, Vol. 48, No. 7. — P. 243–248.
6. **Wan Wenqing, Tian Bailin, Feng Haiming, Cheng Xingming, Li Ping, and Ren Anxiang.** Research on multi-parameters detection method of mine belt conveyor based on laser ranging, *Coal Sci. and Technol.*, 2020, Vol. 48, No. 8. — P. 131–138.
7. **Qiu Shuohan and Tan Zhangu.** Study on index system of intelligent mine construction degree in coal enterprises, *Coal Sci. and Technol.*, 2019, Vol. 47, No. 10. — P. 259–266.
8. **Wu Qunying, Jiang Lin, Wang Guofa, Ye Ou, Jiang Zejun, Dong Lihong, Guo Jianjun, Fu Limei, Shi Xiaonan, Xi Xiao, and Xue Zhongxin.** Top-level architecture design and key technologies of smart mine, *Coal Sci. and Technol.*, 2020, Vol. 48, No. 7. — P. 80–91.
9. **Wang Tong.** Research on fault detection of mine conveyor based on image processing, *Mod. Chem. Res.*, 2018, Vol. 12. — P. 78–79.
10. **Yang Xiang, Tian Muqin, Li Lu, Lei Zhipeng, Song Jiancheng, and Zhang Linfeng.** Research on belt failure detection technology for belt conveyor, *Coal Mine Machinery*, 2019, Vol. 40, No. 2. — P. 133–136.
11. **Mao Qinghua, Mao Jingen, Ma Hongwei, Zhang Xuhui, and Li Zheng.** Research on intelligent monitoring system of mine-used belt conveyor, *Industry and Mine Automation*, 2020, Vol. 46, No. 6. — P. 48–52.

12. **Sang Guoxing.** Reasons for belt conveyor deviation and design of double vertical roller deflection control device, *Mech. Eng. & Automation*, 2019, Vol. 2. — P. 206–207.
13. **He Jinxuan, Xue He, Zhang Shun, and Chen Yan.** Analysis of rectifying characteristic of belt conveyor self-aligning idler, *Coal Mine Machinery*, 2020, Vol. 41, No. 3. — P. 72–74.
14. **Zhang Ziyang and Zhang Pan-Pan.** Research on deviation and correction measures of belt conveyor in coal mine, *Mech. Eng.*, 2019, Vol. 9. — P. 99–101.
15. **Jia Yingxin, Jin Ye, Wang Yong, and Zhang Jinhui.** Belt correction system of belt conveyor based on visual detection, *Coal Mine Machinery*, 2019, Vol. 40, No. 9. — P. 62–64.
16. **Zhang Xiehua, Zhang Shen, Fang Shuai, and Cao Yang.** Clearing research on fog and dust images in coalmine intelligent video surveillance, *J. of China Coal Society*, 2014, Vol. 39, No. 1. — P. 198–204.
17. **Wang Haijun.** Study on centralized control system of digital fully-mechanized coal mining face, *Coal Sci. and Technol.*, 2017, Vol. 45, No. 1. — P. 135–141.
18. **Sun Jiping.** New technology and development of mine informatization and automation, *Coal Sci. and Technol.*, 2016, Vol. 44, No. 1. — P. 19–23+83.
19. **He Yanpeng, Huang Qingxiang, and Cao Jian.** Development status and key technology of visual mine, *Coal Sci. and Technol.*, 2019, Vol. 47, No. 4. — P. 32–37.
20. **Xie Yang, Xu Zhen-Xing, Wang Bo, and Shi You-Zhi.** Deviation of conveyor belt in open-pit coal mine in alpine area and improvement measures, *Coal Mine Machinery*, 2019, Vol. 40, No. 1. — P. 109–110.

*Поступила в редакцию 07/X 2020*

*После доработки 25/VI 2021*

*Принята к публикации 30/VI 2021*