

УДК 004.9

В.А. ЕМЕЛЬЯНОВ, Н.Ю. ЕМЕЛЬЯНОВА

Севастопольский институт банковского дела Университета банковского дела Национального банка Украины, Украина

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПЕРЕДВИЖНЫХ МИКСЕРОВ НА ОСНОВЕ ОБРАБОТКИ ВИЗУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Разработана архитектура интеллектуальной компьютерной системы диагностики технического состояния миксера. Описан алгоритм определения поврежденных участков миксера, основанный на распознавании изображений термограмм передвижных миксеров. Предложена прецедентная система поддержки принятия решений (СППР) для диагностики текущего состояния передвижного миксера. Разработана структура базы знаний предложенной СППР. Приведены результаты функционирования разработанной интеллектуальной компьютерной системы диагностики технического состояния передвижных миксеров.

Ключевые слова: интеллектуальная система, распознавание изображений, система поддержки принятия решений, база знаний, передвижной миксер, диагностика состояния.

Введение

Современный этап развития производства сопровождается интенсивным внедрением новых информационных технологий, предназначенных для компьютеризации технологических процессов. Одним из таких процессов в металлургическом производстве является мониторинг транспортировки жидкого чугуна. Компьютеризация этого процесса позволяет исследовать различные варианты технологических схем перевозки жидкого чугуна, разрабатывать прогнозные оценки состояния ресурсов при перевозке чугуна, создавать и исследовать модели и методы принятия решений и, как следствие, поднять мониторинг транспортировки жидкого чугуна на качественно новый уровень.

В Украине и в других государствах (например, России, Бразилии, Германии) используются специализированные комплексы для перевозки жидкого чугуна, такие как передвижные миксеры (рис 1).



Рис. 1. Передвижной миксер ПМ 350т

Исследование экономической целесообразности применения передвижных миксеров было выполнено фирмой Koninklijke. Nederlandsche

Hoogovens Staalafabriek NV (Нидерланды) [1]. По результатам исследования оказалось, что при использовании передвижных миксеров отпадает необходимость в стационарных миксерах, вместо которых процесс выравнивания чугуна можно проводить в сугарообразном ковше. Техничко-экономические расчеты показали, что в некоторых случаях комплекс оборудования, состоящий из двух доменных печей производительностью 1 млн. т. чугуна в год, стационарных миксеров и вагонов для перевозки обычных миксеров значительно менее экономичен, чем комплекс оборудования, в который входят те же доменные печи и передвижные миксеры, так как использование в последнем случае ковша емкостью 450 т в качестве миксера дает экономии 3 млн. долл. [1]

В Англии и Германии для внутривозовских перевозок жидкого металла, используются миксеры, имеющие сугарообразный ковш вместимостью 250 т., которые производятся совместно с фирмами Dislington Engineering Co, (Англия) и Demag AC (Германия).

В настоящее время миксеры кроме украинских металлургических предприятий и зарубежных широко используются в России. Например, Новокраматорский машиностроительный завод (Украина) поставил партию миксеров МП-600АС для перевозки чугуна на ОАО «Северсталь» вместимостью 600 тонн. [2].

По данным [3] Чешский машиностроительный холдинг Vitkovice Machinery Group намерен сотрудничать с Магнитогорским металлургическим комбинатом (ММК) и Златоустовским метзаводом

(ЗМЗ) в сфере реконструкции, в том числе и поставки миксеров типа ПМ350т для перевозки жидкого чугуна. Следует отметить, что при сотрудничестве с этим же холдингом были поставлены на ПАО «Алчевский металлургический комбинат» (Украина) такие же миксеры типа ПМ 350т.

При эксплуатации миксеров уделяется значительное внимание уровню и массе жидкого чугуна в передвижном миксере и состоянию его футеровки, поскольку эти факторы могут быть причиной выхода миксера из строя, то есть разрушения, что влечет большие материальные затраты, так как после выхода из строя миксер не подлежит восстановлению. На практике в металлургическом производстве мониторинг технического состояния передвижных миксеров и контроль массы жидкого чугуна для перевозки реализуются с помощью квалифицированного персонала на основании его личного опыта, с использованием измерительных средств, которые характеризуются весьма значительной погрешностью измерения. Поэтому в указанной предметной области возникают задачи, связанные с повышением объективности и качества принятия решений при перевозке жидкого чугуна.

Постановка задачи

В указанной предметной области существует ряд нерешенных вопросов, которые невозможно решить без использования современных информационных технологий, среди которых наиболее острыми являются: диагностика состояния передвижного миксера для поддержки принятия решений по замене его футеровки для предотвращения его разрушения.

В настоящее время существуют различные системы мониторинга и управления технологическим оборудованием и процессами при производстве и перевозке жидкого чугуна из доменного цеха в конвертерный [2-5]. Например, системы «Перелив», «Литейный двор», которая внедрена и эксплуатируется на ОАО «Северсталь» и другие.

Существующие системы обладают большим функциональным набором. Однако в этих комплексах существуют недостатки. Из анализа [1,4,5] можно сделать вывод о том, что существующие системы не обеспечивают мониторинг процесса перевозки жидкого чугуна в полной мере. В системах отсутствует возможность оценки состояния футеровки, что является одной из главных задач при транспортировке чугуна передвижными миксерами, т.к. выгорание футеровки может привести к разрушению миксера. Кроме того, все существующие системы ориентированы на конкретное производство и их адаптация на другом предприятии требует значи-

тельных временных и денежных затрат.

Поэтому проведение научных исследований в области компьютеризации процесса мониторинга перевозки жидкого чугуна и диагностики состояния передвижного миксера, с целью создания интеллектуальной системы, которую можно будет применить для любого металлургического производства, является актуальным.

Интеллектуальная компьютерная система диагностики технического состояния миксеров

В основу разработки архитектуры интеллектуальной компьютерной диагностики состояния миксера положено использование аппаратно-программного комплекса и современных информационных технологий.

Предложенная система (рис. 2) состоит из следующих компонентов.

1. Тепловизор – предназначенный для получения изображения термограммы миксера.

2. Тензодатчики – предназначены для определения первичных данных о массе транспортируемого чугуна.

3. Компьютер технолога – ЭВМ, предназначенная для анализа термограмм миксера, а также первичных данных о массе чугуна, на которой располагается программное обеспечение (ПО).

4. Программный анализатор на основе нейронной сети – предназначен для обработки изображения термограммы миксера и массива температур. Программный анализатор реализует метод оценки состояния футеровки миксера, представленный в [6].

5. База данных – содержит полученные в результате анализа данные состоянии футеровки миксера.

6. База миксеров – набор данных о количественном составе миксеров и их характеристиках.

7. Прецедентная СППР – программа, которая оперирует со знаниями в процессе мониторинга с целью выработки рекомендаций или решения проблем по определению количественного состава миксеров и их технического состояния, необходимых для перевозки заданной массы чугуна.

8. База знаний – хранилище информации, содержащее рекомендации или знания, полученные в результате мониторинга процесса транспортировки жидкого чугуна.

9. Электронное светодиодное табло (ЭСТ) – светодиодная панель для отображения информации об общей массе чугуна и массе, транспортируемой в данный момент.

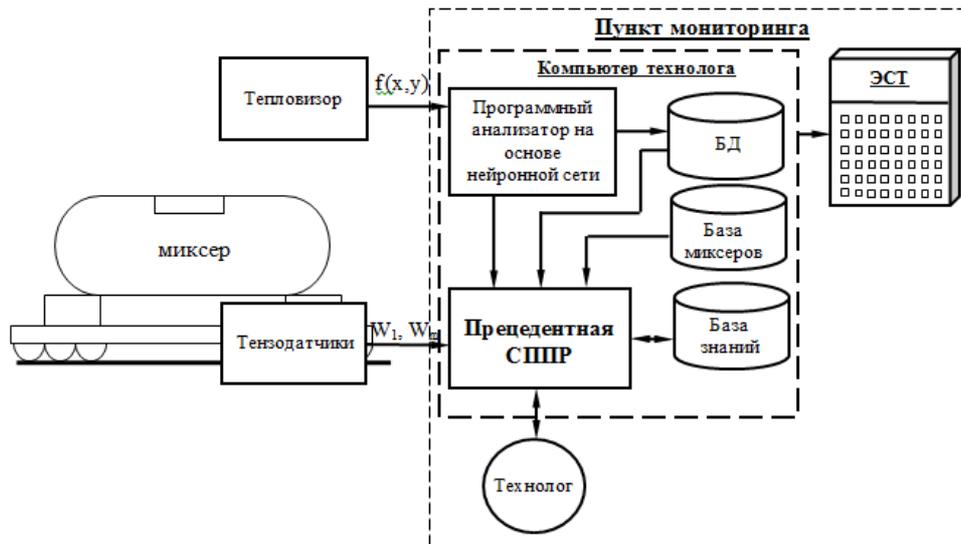


Рис. 2. Архитектура интеллектуальной компьютерной системы диагностики состояния миксера

По предложенной структуре была разработана компьютерная система для мониторинга процесса перевозки жидкого чугуна [7].

Поскольку изнашивание футеровки передвижного миксера сопровождается повышением температуры его участков и миксера в целом, то возможным путем решения задачи диагностики состояния футеровки является получение карты температур миксера. В качестве таких данных предлагается использовать изображение термограммы миксера, которое можно получить с тепловизора. Данное изображение показывает картину распределения температурных полей. Таким образом, для диагностики состояния миксера необходимо проводить распознавание изображений термограмм миксера.

Поскольку сутью диагностики технического состояния миксера является получение и интерпретация изображений термограмм миксеров, следовательно, для определения количественных характеристик технического состояния миксера создан метод обработки изображений термограмм [6] и выделения из него информационных характеристик миксера.

Для получения снимков термограмм в разработанной компьютерной системе использовался тепловизор Fluke Ti10. В разработанной компьютерной системе тепловизор работает в сине-красной цветовой палитре, что позволяет легко анализировать поврежденные участки, поскольку синим цветом выделяются «холодные» участки, а оттенками красного «нагретые».

Предлагается использование тепловизора в цеху во время прибытия миксера с чугуном. В предложенной системе предполагается установка 2 тепловизоров для одновременного получения снимков обеих боковых сторон миксера: $f_{left}(x,y)$, $f_{right}(x,y)$.

Получение снимков верхней и нижней частей миксера ($f_{top}(x,y)$, $f_{bottom}(x,y)$) производится в момент, когда по прибытию в цех миксер производит поворот цистерны для того, чтобы вылить чугун из него. Когда угол поворота составляет 90^0 технолог производит снятие изображений термограмм нижней и верхней частей миксера: $f_{top}(x,y)$, $f_{bottom}(x,y)$. После получения снимков технолог при помощи программного анализатора подвергает их анализу.

Начальным этапом распознавания является формализация задачи и построение минимального исходного вектора, содержащего всю необходимую информацию об объекте распознавания.

После преобразования производится бинаризация изображения. Для бинаризации использован известный метод Отса [8] (определение оптимального порога). Выбор данного метода обусловлен тем, что метод Отса является наиболее эффективным из методов глобальной бинаризации [8].

После бинаризации необходимо определить информативные признаки изображения, которые позволят характеризовать как отдельные участки, так и изображение термограммы миксера в целом.

Как известно [9,10], с точки зрения распознавания и анализа объектов, на изображении наиболее информативными являются не значения яркостей объектов, а характеристики их границ – контуров. Выделение контуров состоит в построении изображения именно границ объектов и очертаний однородных областей фильтром Превитта [9], как показано в [6]. Результат предварительной обработки (векторизации) приведен на рисунке 3:

После определения базовых точек и векторизации определяются значения, характеризующие сегменты изображения термограммы миксеров.



Рис. 3. Результат предварительной обработки изображения термограммы миксера

Элементы сегмента формируются при помощи гипотенуз треугольников, которые формируются посредством перпендикуляров, опущенных из двух соседних базовых точек. Значения синуса и косинуса элементов сегмента ($\sin(A)$, $\cos(A)$) подаются на вход нейронной сети для обучения. Также входным параметром является градиент Превитта (Gr), который определяет значение контрастности.

Нейронная сеть для решения поставленной задачи представляет собой многослойный перцептрон [11] и имеет входной слой, скрытый слой и выходной слой нейронов. Количество нейронов во входном слое вычисляется умножением на 3 количества базовых точек в выборке изображений (поскольку точка характеризуется 3 параметрами: косинус, синус, яркость). Величина скрытого слоя вычисляется делением на 3 количества входного слоя, поскольку в скрытом слое производится сегментация изображения на основе базовых точек сегментов, т.е. для каждой точки сегмента вычисляется характеризующее её аппроксимируемое значение на основе параметров базовых точек.

Размер выходного слоя равен 1 нейрону, который будет проводить идентификацию подаваемого на вход изображения участка миксера. Структура

нейронной сети приведена на рисунке 4.

Для обучения нейронной сети используется алгоритм обратного распространения ошибки (backpropagation) [12].

Для измерения качества распознавания производилось вычисление среднеквадратической ошибки по формуле:

$$E = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - y(k_i))^2, \quad (1)$$

где: E – ошибка распознавания;

y_i – значение i -го выхода сети при распознавании изображения термограммы;

$y(k_i)$ – значение i -го эталонного выхода сети, которое соответствует классу изображения.

Поскольку входные параметры нейронной сети характеризуют изображение термограммы миксера и описывают его количественно, то, на основании проведенных экспериментов с изображениями термограмм, была вычислена численная принадлежность участка миксера к определенному температурному диапазону, в зависимости от его входных характеристик (цвета), за счет вычисления значений

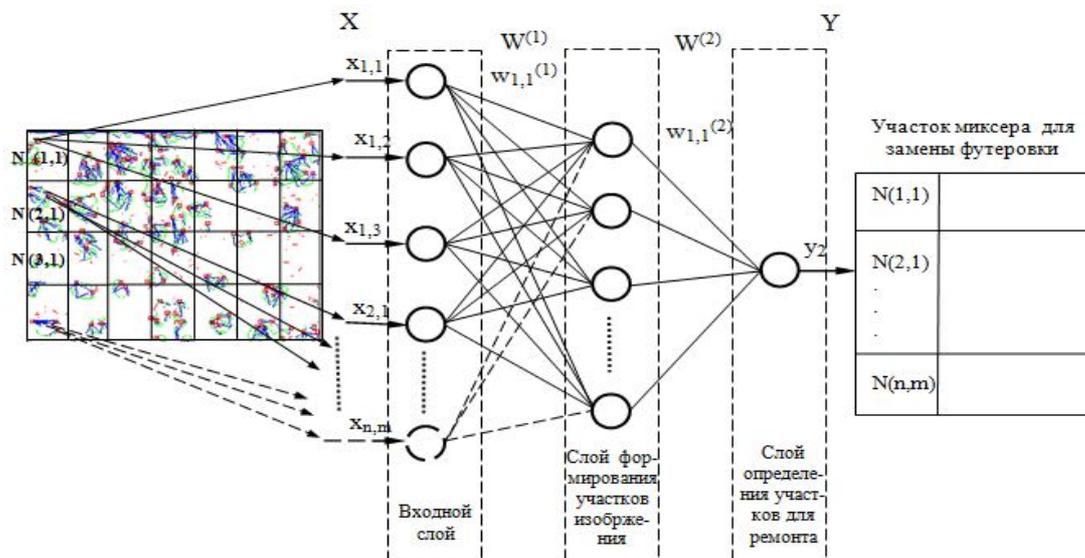


Рис. 4. Модель нейронной сети для распознавания изображения термограммы миксера

выходных нейронов при обучении, которые отвечают за определение состояния отдельных участков миксера. Результаты сведены в таблицу 1:

Согласно нормативным данным эксплуатации миксеров, недопустимыми являются значения, которые превышают диапазон температур T7, поскольку после этих температур может проходить отпуск металла, что может привести к разрушению миксера.

На основании таблицы и результатов обработки нейронной сетью изображения термограммы миксера, возможным представляется построить матрицу состояний миксера:

$$Places = \begin{pmatrix} 4 & 0 & 0 & 5 & 5 & 5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 4 & 5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 4 & 0 & 0 & 0 & 3 & 4 & 0 & 0 \\ 4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 4 & 0 & 0 & 0 & 3 & 0 & 0 & 3 \end{pmatrix} \quad (2)$$

Каждый элемент матрицы характеризует определенный участок миксера. Нулевые значения говорят об отсутствии повреждений на участках. Результат работы алгоритма создания карты температур миксера на основе матрицы состояний, приведен на рисунке 5.



Рис. 5. Карта температур изображения термограммы, характеризующая поврежденные участки миксера

Описанный выше метод компьютеризированной диагностики состояния миксера позволяет определять номера участков миксера, которые подле-

жат ремонту футеровки. Однако, если количество этих участков слишком велико, то нецелесообразным является замена футеровки на отдельных участках миксера. В таком случае необходимо проводить замену всей футеровки. Следовательно, задача определения типа ремонта миксера не является полностью решенной, т.к. необходимо генерировать рекомендации о действиях в сложившейся ситуации с миксером. Кроме этого, необходимым условием процесса мониторинга состояния миксера, является изучение износа футеровки в динамике. Таким образом, необходимо решить задачу прогнозирования износа.

Для решения данных задач предлагается СППР, которая образуется из математических моделей и аппаратно-программных средств реализации прецедентного метода принятия решений.

Задачей лица, принимающего решение о замене футеровки (ЛПР), является вычисление параметров, характеризующих состояние миксера с помощью метода автоматизированной оценки технического состояния миксера [6]. Изменение параметров, характеризующих состояние футеровки, однозначно определяет конкретную ситуацию, т.е. прецедент, сложившийся с миксером в процессе перевозки чугуна.

Выбор прецедента осуществляется при помощи многофакторной оценки состояния футеровки участка миксера, как показано ниже.

Одной из главных задач СППР является накопление и упорядочение множества прецедентов. Алгоритм формирования базы прецедентов включает следующие фазы [13]:

- 1) задания весов признаков для определения уровня значимости прецедента;
- 2) кластеризации прецедентов по выявленным признакам;
- 3) выбора требуемого множества прецедентов на основе критерия подобия ситуаций с миксером.

Таблица 1

Соответствие значений выходных нейронов с температурой миксера

Палитра цветов изображений термограмм	Диапазон значений выходного нейрона	Температурный диапазон	Введенное обозначение температурного диапазона
Синий	-	0-30 °C	T _{normal}
	-	30-40 °C	T _{pre}
Желтый	0,0001 – 0,15	40-50 °C	T1
	0,151 – 0,21	50-70 °C	T2
	0,22 – 0,28	70-90 °C	T3
	0,29 – 0,34	90-110 °C	T4
	0,341 – 0,41	110-150 °C	T5
	0,42 – 0,5	150-200 °C	T6
Красный	0,51 – 0,6	200-250 °C	T7
	0,61 – 0,79	250-300 °C	T8
	0,8 – 0,89	300-350 °C	T9
	0,9 – 0,99	350-400 °C	T10

На первом этапе определяется оценочная функция признаков. Оценочная функция позволяет в дальнейшем производить отбор уместных прецедентов, используя отношение подобия, построенное на множестве наиболее важных признаков.

Следовательно, необходимо определить значения весовых коэффициентов признаков w таким образом, чтобы значение оценочной функции было минимальным. Для заданного набора весов признаков $w_j (w_j \in [0,1], j = 1 \dots n)$, и пары прецедентов e_p и e_q , выражение (3) определяет взвешенную меру близости $d_{pq}^{(w)}$, а выражение (4) – меру подобия прецедентов $SM_{pq}^{(w)}$

$$d_{pq}^{(w)} = \sqrt{\left(\sum_{j=1}^n w_j^2 (x_{pj} - x_{qj})^2 \right)}, \quad (3)$$

$$SM_{pq}^{(w)} = \frac{1}{1 + d_{pq}^{(w)}}. \quad (4)$$

где x – значения признаков.

Оценочная функция признаков определяется следующим образом:

$$E(w) = 2 \cdot \left(\sum_p \sum_{q(q < p)} (SM_{pq}^{(w)} (1 - SM_{pq}^{(w)}) - (1 - SM_{pq}^{(w)}) SM_{pq}^{(w)}) \right) / (N(N-1)) \quad (5)$$

где N – число прецедентов в базе прецедентов.

На следующем этапе выполняется кластеризация базы прецедентов, как показано в [14]. После того как исходная база разделена на отдельные кластеры, можно реализовать процедуру поиска подобных прецедентов (на основе отношения подобия).

Отклонение характеристик исследуемого участка футеровки миксера – ΔX_i , определяется как:

$$\Delta X_i = X_i - \overline{X_i}. \quad (6)$$

При помощи определения функции полезности, характеристики X_i приводятся к изоморфному виду.

При этом, значение характеристик определяется с помощью формулы нормализации критериев:

$$\overline{X_i} = \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}, \quad (7)$$

где: X_i – значение i -ой характеристики;

X_{\min} – минимальное значение характеристики;

X_{\max} – максимальное значение характеристики.

Характеристиками, описывающими состояние миксера и формирующими прецеденты, является

множество:

$$H_{\text{mixer}} = \{N, N_{\max}, W_r, T_{\text{iron}}, T_{\text{mixer}}[], Mas_{f(x,y)}[]\}, \quad (8)$$

где, N – количество проведенных заливок чугуна в миксер;

N_{\max} – количество максимально допустимых заливок чугуна в миксер;

W_r – масса транспортируемого чугуна;

T_{iron} – температура чугуна, получаемая с помощью пирометра;

$T_{\text{mixer}}[]$ – температура участков миксера.

$Mas_{f(x,y)}[]$ – характеристики поврежденных участков миксера: $Gp \sin(A), \cos(A)$.

После нормализации, значения всех характеристик участка футеровки миксера будут приведены к общему виду, и их значение будет варьироваться в интервале $[0 \dots 1]$.

Многофакторная общая оценка расстояния полученного состояния футеровки миксера от предыдущего состояния футеровки будет иметь вид:

$$L = \sum_{i=1}^n a_i \cdot \Delta X_i, \quad (9)$$

где a_i – весовые коэффициенты значимости отдельных характеристик,

Тогда принцип оптимальности будет иметь вид:

$$X_n^0 = \arg_{x=X} \min \sum_{i=1}^n a_i \cdot \Delta X_i. \quad (10)$$

Разработка баз прецедентов по диагностике технического состояния миксера в динамике может быть выполнена наиболее опытными сотрудниками предприятия – экспертами, работающими непосредственно с системой транспортировки чугуна.

Таким образом, на основании отношения подобия и выбора прецедента из базы знаний о состоянии футеровки отдельных участков миксера, предоставляется возможным отслеживать изменение состояния футеровки в динамике, с целью дальнейшего прогнозирования износа футеровки.

Продукции в базе знаний представим в виде:

$$Pr = \langle \text{num}_{Pr}; L; A \Rightarrow h; MD_{Pr}; MND_{Pr} \rangle, \quad (11)$$

где, num_{Pr} – имя продукции (в его качестве предлагается использовать порядковый номер продукции в БЗ);

L – сфера применения продукции («свойства миксера», «свойства чугуна» и т.д.);

$A \Rightarrow h$ - ядро продукции, где $A = \{A_n\}$, $n = \overline{1, g}$ - множество посылок, описывающих некоторую ситуацию, $h = \{h_j\}$, $j = \overline{1, J}$ - множество гипотез, которые рассматриваются в процессе логического вывода, если посылки будут удовлетворены;

$МД_{Pr}$ и $МНД_{Pr}$ - соответственно мера доверия и мера недоверия гипотезе h , выводимой из данной продукции, при условии истинности посылок.

Интерпретацией ядра продукции является выражение:

$$\text{ЕСЛИ } A_1 \text{ и/или } \dots A_n, \text{ ТО } h_j. \quad (12)$$

Разрабатываемая модель знаний представляет собой правила для генерации рекомендаций по замене футеровки, как на отдельных участках миксера, так и всего миксера.

Фрагмент базы знаний в виде продукции приведен ниже:

```
<1; свойства миксера; ЕСЛИ Count > 0,3*N И EXIST(Place(n,m))
> T3 И Side="LEFT" ТО conclusion = «Рекомендуется замена
всей футеровки левой стороны миксера»; 1; 0 >
<2; свойства миксера; ЕСЛИ Count > 0,3*N И EXIST(Place(n,m))
< T3 И Side="LEFT" ТО conclusion = «Рекомендуется провести
дополнительное исследование левой стороны»; 1; 0 >
<3; свойства миксера; ЕСЛИ Count < 0,3*N И EXIST(Place(n,m))
< T3 И Side="LEFT" ТО conclusion = «Рекомендуется провести
замену следующих участков левой стороны миксе-
ра.»+Place(n,m); 1; 0 >
<4; свойства миксера; ЕСЛИ Count = 0 И Side = "LEFT" ТО
conclusion = «ремонт левой стороны не проводить»; State[n, m];
1; 0 >
<5; свойства миксера; ЕСЛИ Count > 0,3*N И EXIST(Place(n,m))
> T3 И Side="TOP" ТО conclusion = «Рекомендуется замена всей
футеровки верхней части миксера»; 1; 0 >
```

Массив Place[n, m] содержит информацию о номере участка миксера для замены футеровки.

Массив State[n, m] содержит информацию о параметрах, характеризующих состояние футеровки на участках при данном измерении ее состояния. В последующем, данные используются для прогнозирования степени износа футеровки на основании нескольких измерений.

Функция EXIST() предназначена для определения в массиве максимального значения температуры участков.

Переменная N предназначена для отслеживания количества произведенных заливок.

Из модели видно, что значение $МД_{Pr} = 1$, а $МНД_{Pr} = 0$, что объясняется тем, что данные о замене футеровки были получены и подтверждены экспериментально для миксеров типа ПМ 350т, которые эксплуатируются на ПАО «Алчевский металлургический комбинат» [15].

Таким образом, была разработана модель знаний, позволяющая разработать базу знаний о футеровке передвижного миксера для СППР, которая предназначена для определения технического состояния миксера.

Следует отметить, что использование предложенных средств позволило повысить достоверность диагностики состояния футеровки миксера типа ПМ 350т до 98% [15]. Под достоверностью диагностики состояния миксера понимается степень соответствия полученного результата анализа термограммы с реальными данными о состоянии футеровки миксера типа ПМ 350т, полученными экспериментально на Алчевском металлургическом комбинате.

Заключение

Таким образом, при использовании предложенной интеллектуальной компьютерной системы диагностики состояния миксеров достигается высокой достоверность диагностики состояния миксера.

Более того, предложенные в работе средства можно использовать также для миксеров типа МП 600АС, например на ОАО «Северсталь» (Россия), поскольку они имеют подобную цилиндрическую («сигарообразную») структуру, как миксеры типа ПМ 350т. Адаптировать разработанную компьютерную систему для миксеров типа МП 600АС становится возможным, поскольку предложенные методы основаны на аппарате нейронных сетей и элементах теории прецедентов, что дает возможность научить систему распознаванию изображений и диагностике состояния миксеров типа МП600АС на имеющейся на заводе выборке изображений термограмм миксеров.

Литература

1. Annual report 1998 Koninklijke Hoogovens NV [Text] / Corporate Secretariat Koninklijke Hoogovens. – Amsterdam, 1998. – 88 p.
2. Модернизация и комплексное оснащение современным оборудованием предприятий металлургии [Текст] / Г.С. Суков, Ю.Н. Белобров, Н.Н. Попов, В.А. Дзержинский // Металлургия: Тенденции развития. – 2008. – № 03. – С. 4-7.
3. Чешский машиностроительный холдинг "VITKOVICE MACHINERY GROUP" планирует сотрудничество с южноуральскими инженерами. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.metaldaily.ru/news/news66847.html>. – 12.03.2013.
4. Гусев, Ю.В. Математическая модель процесса транспортирования чугуна в конвертерный цех [Текст] / Ю.В. Гусев, Д.Ю. Гусев // Вісник Приазовського державного технічного університету:

Зб. наук. пр. – Мариуполь, 2008. – № 18. – С. 230-232.

5. Martino, M. *Refractory Lining for Oxygen Converters: Recent Experiences in this Field [Text]* / M. Martino, M. Fenu, A. Anfosso // *Proceedings of 5-th European Steelmaking Conference, 26-28 June, 2006, Aachen, Germany. – Dusseldorf: Steel Institute VDEh, 2006. – P. 229-233*

6. Емельянова, Н.Ю. *Метод автоматизированной оценки технического состояния передвижного миксера [Текст]* / Н.Ю. Емельянова // *Системы обработки информации: сб. науч. тр. Харьковский университет воздушных сил им. Кожедуба. – Вып. 8(98). – X., 2011. – С. 67-70.*

7. Паэранд, Ю.Э. *Структурная организация информационной системы перевозки жидкого чугуна [Текст]* / Ю.Э. Паэранд, Н.Ю. Емельянова // *Автоматизация: проблемы, идеи и решения "АПИР - 2010": Труды международной научно-технической конференции, Севастополь, 2010. – С. 108-110.*

8. Chen, C.H. *Handbook of pattern recognition and computer vision [Text]* / C.H. Chen, L.F. Rau and P.S.P. Wang (eds.). – Singapore-New Jersey-London-Hong Kong: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 1995. – 984 p.

9. Красильников, Н.Н. *Цифровая обработка изображений [Текст]* / Н.Н. Красильников. – М.: Вузовская книга, 2001. – 320 с.

10. Шапиро, Л. *Компьютерное зрение [Текст]: пер с англ. / Л. Шапиро, Дж. Стокман. – М.: Бином, 2006. – 752 с.*

11. Воссермен, Ф. *Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика [Текст]: пер. с англ. / Ф. Воссермен. – М.: Мир, 1992. – 185 с.*

12. Nguyen, D.H. *Neural networks for self-learning control systems [Text]* / D.H. Nguyen, B. Widrow // *IEEE Control Systems Magazine. – 1990. – Vol. 10, № 3. – P. 334-341.*

13. Smyth, B. *Case-Base Maintenance [Text]* / B. Smyth // *Tasks and Methods in Applied Artificial Intelligence, LNAI 1416, Springer-Verlag. – 1998. – P. 507-516.*

14. Варшавский, П.П. *Применение метода аналогий в рассуждении на основе прецедентов для интеллектуальных систем поддержки принятия решений [Текст]* / П.П. Варшавский // *Девятая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2004. – М.: Физматлит, 2004. – С. 218-226.*

15. Емельянова, Н.Ю. *Інформаційна технологія підтримки прийняття рішень для процесу контролю перевезення рідкого чавуну [Текст]* / Н.Ю. Емельянова, Ю.Е. Паэранд // *Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2011. – Вып. 3. – С. 128-132.*

Поступила в редакцию 5.09.2013, рассмотрена на редколлегии 11.09.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф., проф. кафедры экономической кибернетики А.И. Песчанский, Севастопольский институт банковского дела УБД НБУ.

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА ДІАГНОСТИКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ РУХОМИХ МІКСЕРІВ НА ОСНОВІ ОБРОБКИ ВІЗУАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

В.О. Ємельянов, Н.Ю. Ємельянова

Розроблено архітектуру інтелектуальної комп'ютерної системи діагностики технічного стану міксеру. Описано алгоритм визначення пошкоджених ділянок міксеру, який засновано на розпізнаванні зображень термограм міксерів. Запропоновано прецедентну систему підтримки прийняття рішень (СППР) для діагностики поточного стану міксеру. Розроблено структуру бази знань запропонованої СППР. Наведено результати функціонування розробленої інтелектуальної комп'ютерної системи діагностики технічного стану міксерів.

Ключові слова: інтелектуальна система, розпізнавання зображень, система підтримки прийняття рішень, база знань, пересувний міксер, діагностика стану.

INTELLIGENT COMPUTER SYSTEM FOR DIAGNOSTIC OF MIXER TECHNICAL STATE ON THE BASIS OF PROCESSING OF VISUAL INFORMATION

V.A. Iemelianov, N.Iu. Iemelianova

The architecture of intelligent computer system diagnostics of technical state of the mixer was developed. The algorithm of determining the damaged areas of the mixer based on image recognition thermogram of mixers was described. The precedent decision support system (DSS) for the diagnosis of the current state of the mixer was developed. The structure of the knowledge base of the proposed DSS was described. The results of the functioning intelligent computer system diagnostics of technical state of mixers are shown.

Key words: intelligent system, pattern recognition, decision support system, knowledge base, mixers, diagnosis of the state.

Емельянов Виталий Александрович – канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры информационных технологий и систем, Севастопольский институт банковского дела УБД НБУ, Севастополь, Украина. e-mail: v.yemelyanov@gmail.com

Емельянова Наталия Юрьевна – канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры информационных технологий и систем, Севастопольский институт банковского дела УБД НБУ, Севастополь, Украина.