

РАСПОЗНАВАНИЕ ОПЕРАТИВНОГО СОСТОЯНИЯ ФУТЕРОВКИ БАРАБАННЫХ МЕЛЬНИЦ

© L. Meshcheriakov

RECOGNITION OF OPERATIVE STATE FUTEROVKI OF DRUM MILLS

Полученные интеллектуальные прогнозирующие модели процесса самоизмельчения руд обеспечивают возможность осуществления автоматического контроля степени износа конструктивных элементов футеровки по информативным признакам спектральных плотностей моментных функций сигналов мощности.

Отримані інтелектуальні прогнозуючі моделі процесу самоздрібнення руд забезпечують можливість здійснення автоматизованого контролю ступеня зносу конструктивних елементів футеровки по інформативним ознакам спектральної щільності моментних функцій сигналів потужності.

Введение. Барабанные мельницы (БМ) являются одним из наиболее распространенных типов машин для измельчения материалов в крупнотоннажных производствах. На них ежегодно измельчаются десятки миллионов тонн горнохимического сырья и других материалов. Измельчение полезных ископаемых – это один из наиболее важных процессов в обогащении и в перерабатывающей промышленности. При этом конструктивно барабаны мельниц мокрого самоизмельчения имеют плиты футеровки брони расположенные по периметру окружности и лифтеры между ними. Мельничная футеровка предназначена для предохранения внутренних поверхностей барабана мельницы от износа дробящей средой и размалываемым материалом. Кроме того, футеровки играют существенную роль в механизме движения дробящей среды и измельчении материала [1].

Целью работы является исследование возможности идентификации степени износа конструктивных элементов брони - лифтеров на основе метода идентификации нелинейных объектов нечеткими базами знаний.

Материалы и результаты исследований. Для оптимизации производительности мельницы тщательно просчитываются профили конструкций футеровок. В технологическом процессе измельчения руды происходит и износ брони барабанов мельниц. При этом крайне важно выявить момент остановки мельницы для замены изношенной футеровки. Регулярный сбор данных внутри мельницы помогает правильно определить срок замены компонентов брони. Для этого учитывают число рабочих часов и пропускную способность для пропорционального распределения срока службы футеровки и ее замены, а также

выполняются периодические остановки мельниц с визуальным определением степени износа брони. Но такой процесс мониторинга требует значительных временных, материальных и энергетических затрат, так как удельная производительность мельниц самоизмельчения ниже, чем шаровых и стержневых, а расход энергии выше в 1,3 – 1,4 раза по сравнению с расходом энергии при работе по обычным схемам. И расход футеровок в мельницах самоизмельчения выше, чем в обычных шаровых и стержневых мельницах. Поэтому практически важно избегать износа плит брони футеровки за счет своевременной замены изношенных лифтеров [1, 2, 3, 4]. Из представленной схемы (рис. 1) видно, что вся сила падающего дробящего материала приходится на верхнюю часть лифтера и броню в зоне “пяты” [1]. Здесь происходит заполнение измельчаемым материалом пространства между лифтерами. И в период прохода данного участка под сегментом заполнения, который совершает вращательно-колебательные движения, осуществляется интенсивное истирание торцов лифтеров и материала межлифтерного заполнения о сегмент заполнения. Когда изнашивается верхняя часть лифтера до уровня условно определяемого по критической линии, которая соприкасается с выступами брони плит футеровки, наступает критическая ситуация, когда материал заполнения не удерживается в межлифтерном пространстве и соответственно не закрывает от износа броневую плиту футеровки. В этот момент начинается интенсивное истирание не только торцевых частей лифтеров но и плит футеровки. Поэтому крайне важно контролировать высоту лифтеров для своевременной их замены и исключения интенсивного износа плит футеровки, так как замена и ремонт их значительно дороже и сложнее чем замена лифтера.

В сложных условиях неопределенности, как по общему оперативному состоянию БМ и ее отдельных составляющих, так и по физико-механическим свойствам измельчаемых руд и изнашиванию породоразрушающего инструмента (ПРИ), в качестве которого выступает броня футеровки барабана, во время измельчения, эффективность процесса определяется возможностью и точностью выполняемой дифференциальной технологической и технической диагностики. В результате классификация возникающих предаварийных осложнений определяется по одному из принятых на горно-обогатительных комбинатах уровней тяжести. Причем качество диагностики сильно зависит от квалификации обслуживающего производственного персонала, что обуславливает необходимость разработки компьютерных систем интеллектуальной поддержки и прогнозирования принятия рациональных диагностических решений в предаварийных ситуациях.

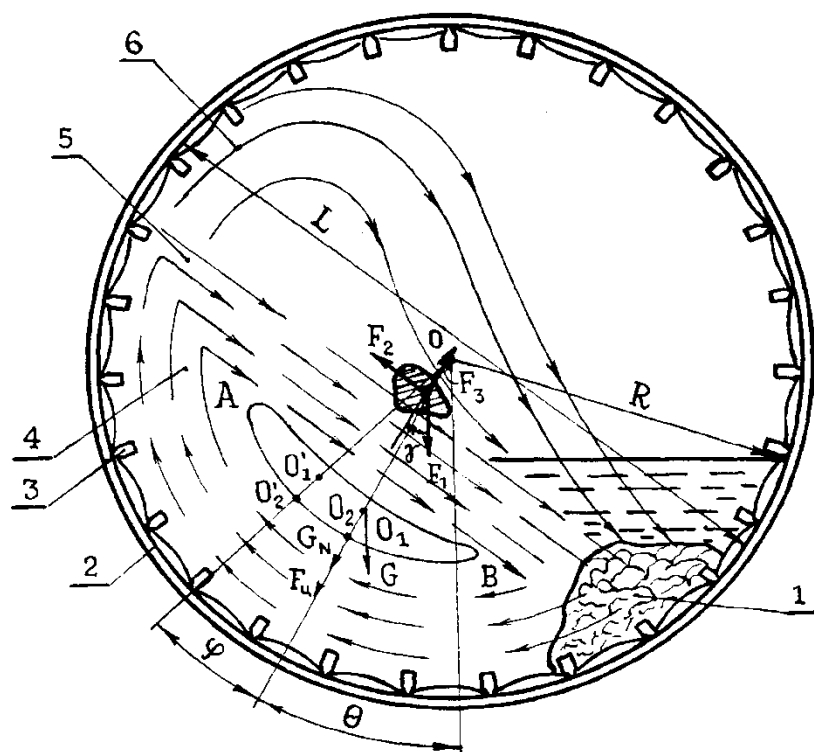


Рис. 1. Схема ударной системы “лифтер – измельчаемый материал”: 1 – зона беспорядочного движения материала (пята); 2 – барабан; 3 – лифтер; 4 – область рудного заполнения транспортируемая вверх; 5 – скатывающиеся рудопотоки; 6 – рудопотоки водопадного режима; 7 – броневая плита

Для решения этой научной задачи разработана интеллектуальная прогнозирующая модель комплексной оценки состояния футеровки мельницы мокрого самоизмельчения на основе метода идентификации нелинейных объектов нечеткими базами знаний. Построение прогнозирующей модели производилось в два этапа: первый – структурная идентификация; второй – параметрическая идентификация. На первом этапе строилась структура зависимости возможных отказов от основных влияющих в технологическом процессе самоизмельчения руд факторов, с применением базовых экспертных правил <ЕСЛИ – ТО>. На втором этапе проводилась настройка прогнозирующей модели путем подбора таких параметров формы функций принадлежности нечетких термов и весов правил, <ЕСЛИ – ТО>, которые интегрировано обеспечивают минимальное расхождение модельных и экспериментальных результатов. При этом на этапе параметрической идентификации в качестве параметров выступали амплитудные уровни частотных интервалов, которые функционально в большей или меньшей мере были связаны и отражали технологическое состояние по заполнению или техническое состояние мельницы по степени износа лифтеров.

Структура разработанной прогнозирующей модели формируется в виде дерева, вершинами которого являются основные факторы, которые влияют на коэффициент сцепления. Особенность модели заключается в том,

что она учитывает как традиционные для известной методики факторы, так и дополнительно введенные факторы. Все влияющие факторы, рассматриваются как лингвистические переменные, заданные на соответствующих универсальных множествах и оцениваются нечеткими термами. Каждый параметр, в свою очередь, зависит и от факторов более низкого порядка.

Настройка формируемой прогнозирующей модели интеллектуальной идентификации производилась с помощью обучающей выборки, использующей алфавит логики предикатов, которая представляла собой совокупность отношений взаимосвязанных пар отражаемых объектов со своими свойствами, характеристиками через взаимосвязь технологических отношений <влияющие факторы – коэффициент сцепления>. В результате получены базовые функции принадлежности нечетких термов, как констант, предметных переменных или функций, каждая из которых соответствует вероятности возникновения тестируемого отказа. При этом сравнение модельных и экспериментальных результатов оценки коэффициента сцепления, свидетельствует об удовлетворительной для практики адекватности полученной модели.

В таком ракурсе рассмотрения перспективным является интеллектуальная идентификация состояния БМ по моментным и спектральным характеристикам сопутствующих сигналов, наиболее информативным из которых является сигнал мгновенных значений потребляемой мощности электродвигателя привода. Применение в качестве информационной матрицы знаний различных интервалов по частоте спектров мгновенных значений активной мощности привода мельниц самоизмельчения ММС 70*23, или спектральных интервалов от моментных функций дает возможность значительно расширить информационное поле качественных признаков. Сформированное при этом дерево логического вывода диагностики степени износа конструктивных элементов брони (лифтеров) футеровки барабана мельницы, по частотным интервалам в зависимости от технологических и технических факторов аналитически отражается формулой 1. В дальнейшем переменные $d_1 - d_6$ являются идентификацией линейной метрикой степени износа лифтера по высоте. При этом, переменные $(y_1, y_3, y_7, y_{12}, y_{13})$ отражают значения амплитуд частотных интервалов спектральных плотностей от моментных функций разного вида, которые зависят в основном от технологических параметров по функциональному состоянию z_1 . А переменные $(y_2, y_4, y_5, y_6, y_8, y_{10}, y_{11}, y_{14}, y_{15}, y_{16}, y_{17})$ отражают соответственно значения амплитуд частотных интервалов спектральных плотностей от моментных функций, которые зависят в основном от технических параметров по функциональному состоянию z_2 .

Сформированная структура прогнозирующей модели интеллектуальной идентификации для дифференциальной диагностики степени износа конструктивных элементов - лифтеров по высоте, с учетом динамического воздействия основных технологических и технических возмущений в системе барабанной

мельницы в различных рабочих режимах измельчения руд формируется в виде дерева логического вывода и отражается уравнениям вида:

$$x = f_x(z_1, z_2, y_9); \quad z_1 = f_{z_1}(y_1, y_3, y_7, y_{12}, y_{13}); \quad (1)$$

$$z_2 = f_{z_2}(y_2, y_4, y_5, y_6, y_8, y_{10}, y_{11}, y_{14}, y_{15}, y_{16}, y_{17}).$$

В результате, интеллектуальная идентификация по информативным интервалам спектральных и моментных характеристик мгновенных значений активной мощности, которая потребляется приводным электродвигателем барабанной мельницы, отображается не сложной графической структурой дерева логического вывода дифференциальной диагностики степени износа лифтеров и соответствующим аналитическим описанием. И конечно при формировании прогнозирующей модели в работе для оценки базовых значений используемых лингвистических переменных применена стандартная шкала качественных термов интеллектуальной технологии идентификации: Н – низкий, нС – ниже среднего, С – средний, вС – выше среднего, В – высокий.

Соответственно каждый из заданных качественных термов интеллектуальной технологии идентификации остаточного ресурса интегрированного износа лифтеров представляет нечеткое множество, что обуславливается и задается посредством соответствующих функций принадлежности. Используя введенные качественные термы и знания эксперта в области измельчения можно представить сформированные формулы в виде табл. 1 – 4 качественного соответствия дерева логического вывода дифференциальной диагностики интегрированного износа лифтеров [1, 3, 4].

Основные знания эксперта формировались на экспериментальных данных отдела главного обогатителя Лебединского ГОКа, экспериментальных реализациях сигналов мгновенных значений мощности, которая потреблялась приводными электродвигателями мельниц мокрого самоизмельчения типа ММС 70*23 в различных секциях обогатительной фабрики, и соответственно на полученных с них диагностических признаках (min/max) выделенных в спектральных плотностях моментных функций разного типа.

Таблиця 1

Соотношения числовых значений основных технологических и технических параметров из спектра мощности стандартной шкале качественных термов

Параметры (интервалы спектра в Гц)	Н	нС	С	вС	В
$y_1(0.01-0.5)$	0.05-0.061	0.061-0.072	0.072-0.083	0.083-0.094	0.094-0.105
$y_2(0.5-1.0)$	0.012-0.014	0.014-0.015	0.015-0.017	0.017-0.018	0.018-0.02
$y_3(1.0-1.5)$	0.012-0.035	0.035-0.057	0.057-0.08	0.08-0.102	0.102-0.125
$y_4(1.5-2.0)$	0.025-0.04	0.04-0.055	0.055-0.07	0.07-0.085	0.085-0.1
$y_5(2.0-2.5)$	0.009-0.016	0.016-0.023	0.023-0.031	0.031-0.038	0.038-0.045
$y_6(2.5-3.0)$	0.001-0.004	0.004-0.007	0.007-0.011	0.011-0.014	0.014-0.017
$y_7(3.0-3.5)$	0.001-0.015	0.015-0.029	0.029-0.042	0.042-0.056	0.056-0.07
$y_8(3.5-4.0)$	0.006-0.019	0.019-0.032	0.032-0.044	0.044-0.057	0.057-0.07
$y_9(4.0-4.5)$	0.009-0.025	0.025-0.041	0.041-0.058	0.058-0.074	0.074-0.09
$y_{10}(4.5-5.0)$	0.006-0.009	0.009-0.012	0.012-0.014	0.014-0.017	0.017-0.02
$y_{11}(5.0-5.5)$	0.0005- 0.0028	0.0028- 0.0051	0.0051- 0.0074	0.0074- 0.0097	0.0097-0.012
$y_{12}(5.5-6.0)$	0.0009- 0.00312	0.00312- 0.00534	0.00534- 0.00756	0.00756- 0.00978	0.00978- 0.012
$y_{13}(6.0-6.5)$	0.0003- 0.00144	0.00144- 0.00258	0.00258- 0.00372	0.00372- 0.00486	0.00486- 0.006
$y_{14}(6.5-7.0)$	0.0005- 0.0006	0.0006- 0.0007	0.0007- 0.0008	0.0008- 0.0009	0.0009-0.001
$y_{15}(7.0-7.5)$	0.0005-0.002	0.002-0.0035	0.0035-0.005	0.005-0.0065	0.0065-0.008
$y_{16}(7.5-8.0)$	0.0005- 0.0044	0.0044- 0.0083	0.0083-0.012	0.0120-0.016	0.0160-0.020
$y_{17}(8.0-9.0)$	0.0004- 0.00212	0.00212- 0.00384	0.00384- 0.00556	0.00556- 0.00728	0.00728- 0.009

Таблица 2

Сформированные соотношения лингвистических переменных z_1, z_2, y_9 и качественных термов ресурсных диагнозов интегрированного износа лифтеров

z_1	z_2	y_9	d_i
Н	Н	Н	d_1
Н	НС	НС	
НС	НС	Н	
Н	НС	НС	d_2
НС	С	НС	
НС	НС	С	
С	НС	С	d_3
ВС	ВС	НС	
ВС	С	С	
ВС	С	ВС	d_4
С	ВС	ВС	
НС	ВС	ВС	
С	В	С	d_5
ВС	ВС	В	
В	ВС	ВС	
В	В	В	d_6
ВС	В	ВС	
С	В	ВС	

Лингвистическая переменная z_1 , которая обуславливается знаниями оперативного технологического состояния барабанных мельниц, и в свою очередь соответствующие ей качественные термы формируются качественными термами режимных технологических переменных (диапазоны параметров указаны в скобках). При этом лингвистическая переменная z_2 в свою очередь обуславливается формализованными знаниями именно оперативного технического состояния барабанных мельниц, а соответствующие ей качественные термы формируются через качественные термы режимных технических переменных.

Определив формализованные знания о соотношении лингвистических переменных и качественных термов ресурсным диагнозам интегрированного износа лифтеров и функциональные операции “* *” (И – min) и “∨ ∨” (ИЛИ – max), можно записать системы нечетких логических уравнений, которые связывают функции принадлежности интегрированных диагнозов и соответствующих входных лингвистических переменных и термов.

Таблица 3

Сформированные соотношения лингвистических переменных и качественных термов ресурсных диагнозов износа лифтеров по технологической стороне

Y_1	Y_3	Y_7	Y_{12}	Y_{13}	Z_1
В	В	Н	Н	Н	Н
Н	В	вС	С	В	
Н	В	вС	С	В	
вС	В	С	Н	Н	нС
вС	В	С	Н	Н	
вС	В	С	Н	Н	
В	В	В	Н	Н	С
В	В	В	Н	Н	
В	В	В	Н	Н	
Н	В	вС	Н	Н	вС
В	вС	Н	Н	Н	
Н	В	вС	Н	Н	
В	Н	В	В	Н	В
В	В	В	В	Н	
В	В	В	В	Н	

Таблица 4

Сформированные соотношения лингвистических переменных и качественных термов ресурсных диагнозов износа лифтеров по технической стороне

Y_2	Y_4	Y_5	Y_6	Y_8	Y_{10}	Y_{11}	Y_{14}	Y_{15}	Y_{16}	Y_{17}	Z_2
Н	Н	Н	Н	Н	С	Н	С	Н	В	Н	Н
нС	С	В	В	нС	нС	С	В	В	нС	В	
Н	Н	Н	Н	Н	С	Н	С	Н	В	Н	
В	вС	С	В	Н	В	Н	Н	Н	С	Н	нС
В	вС	С	В	Н	В	Н	Н	Н	С	Н	
В	вС	С	В	Н	В	Н	Н	Н	С	Н	
Н	вС	нС	вС	Н	вС	В	Н	Н	Н	Н	С
Н	вС	нС	вС	Н	вС	В	Н	Н	Н	Н	
Н	вС	нС	вС	Н	вС	В	Н	Н	Н	Н	
Н	В	Н	Н	Н	Н	Н	В	Н	С	Н	вС
Н	нС	вС	вС	вС	С	В	В	Н	С	В	
Н	В	Н	Н	Н	Н	Н	В	Н	С	Н	
Н	нС	вС	Н	В	В	В	В	Н	С	вС	В
Н	вС	нС	Н	В	С	В	В	Н	Н	Н	
Н	нС	вС	Н	В	В	В	В	Н	С	вС	

Соответственно типов диагнозов остаточного ресурса интегрированного износа конструктивных элементов – лифтеров по высоте, которые идентифицированы переменными $d_1 - d_6$, интеллектуальная система нечетких логических уравнений будет иметь следующий вид:

$$\begin{aligned}
 v^{d_1}(d) &= \left[v^H(z_1) \cdot v^H(z_2) \cdot v^H(y_9) \right] \vee \left[v^H(z_1) \cdot v^H(z_2) \cdot v^{nC}(y_9) \right] \vee \\
 &\quad \vee \left[v^{nC}(z_1) \cdot v^H(z_2) \cdot v^{nC}(y_9) \right]; \\
 v^{d_2}(d) &= \left[v^H(z_1) \cdot v^H(z_2) \cdot v^H(y_9) \right] \vee \left[v^H(z_1) \cdot v^H(z_2) \cdot v^{nC}(y_9) \right] \vee \\
 &\quad \vee \left[v^{nC}(z_1) \cdot v^H(z_2) \cdot v^{nC}(y_9) \right]; \\
 v^{d_3}(d) &= \left[v^H(z_1) \cdot v^H(z_2) \cdot v^H(y_9) \right] \vee \left[v^H(z_1) \cdot v^H(z_2) \cdot v^{nC}(y_9) \right] \vee \\
 &\quad \vee \left[v^{nC}(z_1) \cdot v^H(z_2) \cdot v^{nC}(y_9) \right]; \\
 v^{d_4}(d) &= \left[v^H(z_1) \cdot v^H(z_2) \cdot v^H(y_9) \right] \vee \left[v^H(z_1) \cdot v^H(z_2) \cdot v^{nC}(y_9) \right] \vee \\
 &\quad \vee \left[v^{nC}(z_1) \cdot v^H(z_2) \cdot v^{nC}(y_9) \right]; \\
 v^{d_5}(d) &= \left[v^H(z_1) \cdot v^H(z_2) \cdot v^H(y_9) \right] \vee \left[v^H(z_1) \cdot v^H(z_2) \cdot v^{nC}(y_9) \right] \vee \\
 &\quad \vee \left[v^{nC}(z_1) \cdot v^H(z_2) \cdot v^{nC}(y_9) \right]; \\
 v^{d_6}(d) &= \left[v^H(z_1) \cdot v^H(z_2) \cdot v^H(y_9) \right] \vee \left[v^H(z_1) \cdot v^H(z_2) \cdot v^{nC}(y_9) \right] \vee \\
 &\quad \vee \left[v^{nC}(z_1) \cdot v^H(z_2) \cdot v^{nC}(y_9) \right].
 \end{aligned} \tag{2}$$

Для данного случая система нечетких логических уравнений, определяющих формализованные знания о соотношении лингвистических переменных $y_1, y_3, y_7, y_{12}, y_{13}$ и качественных термов за введенной лингвистической переменной z_1 по техническому состоянию при дифференциальной диагностике степени износа конструктивных элементов - лифтеров по высоте, для брони футеровки барабанной мельницы (БМ), будет:

$$\begin{aligned}
 v^H(z_1) &= \left[v^B(y_1) \cdot v^B(y_3) \cdot v^H(y_7) \cdot v^H(y_{12}) \cdot v^H(y_{13}) \right] \vee \left[v^H(y_1) \cdot v^B(y_3) \cdot v^{nC}(y_7) \cdot v^C(y_{12}) \cdot v^B(y_{13}) \right] \vee \\
 &\quad \vee \left[v^B(y_1) \cdot v^B(y_3) \cdot v^H(y_7) \cdot v^H(y_{12}) \cdot v^H(y_{13}) \right]; \\
 v^{nC}(z_1) &= \left[v^{nC}(y_1) \cdot v^B(y_3) \cdot v^C(y_7) \cdot v^H(y_{12}) \cdot v^H(y_{13}) \right] \vee \left[v^{nC}(y_1) \cdot v^B(y_3) \cdot v^C(y_7) \cdot v^H(y_{12}) \cdot v^H(y_{13}) \right] \vee \\
 &\quad \vee \left[v^{nC}(y_1) \cdot v^B(y_3) \cdot v^C(y_7) \cdot v^H(y_{12}) \cdot v^H(y_{13}) \right];
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 v^C(z_1) &= \left[v^B(y_1) \cdot v^B(y_3) \cdot v^H(y_7) \cdot v^H(y_{12}) \cdot v^H(y_{13}) \right] \vee \left[v^H(y_1) \cdot v^B(y_3) \cdot v^{6C}(y_7) \cdot v^C(y_{12}) \cdot v^B(y_{13}) \right] \vee \\
 &\quad \vee \left[v^B(y_1) \cdot v^B(y_3) \cdot v^H(y_7) \cdot v^H(y_{12}) \cdot v^H(y_{13}) \right]; \\
 v^{6C}(z_1) &= \left[v^B(y_1) \cdot v^B(y_3) \cdot v^H(y_7) \cdot v^H(y_{12}) \cdot v^H(y_{13}) \right] \vee \left[v^H(y_1) \cdot v^B(y_3) \cdot v^{6C}(y_7) \cdot v^C(y_{12}) \cdot v^B(y_{13}) \right] \vee \\
 &\quad \vee \left[v^B(y_1) \cdot v^B(y_3) \cdot v^H(y_7) \cdot v^H(y_{12}) \cdot v^H(y_{13}) \right]; \\
 v^B(z_1) &= \left[v^B(y_1) \cdot v^B(y_3) \cdot v^H(y_7) \cdot v^H(y_{12}) \cdot v^H(y_{13}) \right] \vee \left[v^H(y_1) \cdot v^B(y_3) \cdot v^{6C}(y_7) \cdot v^C(y_{12}) \cdot v^B(y_{13}) \right] \vee \\
 &\quad \vee \left[v^B(y_1) \cdot v^B(y_3) \cdot v^H(y_7) \cdot v^H(y_{12}) \cdot v^H(y_{13}) \right].
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

А система нечетких логических уравнений, которые определяют знания о соотношении лингвистических переменных $y_2, y_4, y_5, y_6, y_8, y_{10}, y_{11}, y_{14}, y_{15}, y_{16}, y_{17}$ и качественных термов за введенной лингвистической переменной z_2 технологического состояния БМ будет сформирована следующим образом:

$$\begin{aligned}
 v^H(z_2) &= \left[v^H(y_2) \cdot v^C(y_4) \cdot v^{nC}(y_5) \cdot v^H(y_6) \cdot v^B(y_8) \cdot v^{nC}(y_{10}) \cdot v^H(y_{13}) \cdot v^H(y_{14}) \cdot v^H(y_{15}) \cdot v^H(y_{16}) \right] \vee \\
 &\quad \vee \left[v^H(y_2) \cdot v^C(y_4) \cdot v^{nC}(y_5) \cdot v^H(y_6) \cdot v^B(y_8) \cdot v^{nC}(y_{10}) \cdot v^H(y_{13}) \cdot v^H(y_{14}) \cdot v^H(y_{15}) \cdot v^H(y_{16}) \right] \vee \\
 &\quad \vee \left[v^H(y_2) \cdot v^C(y_4) \cdot v^{nC}(y_5) \cdot v^H(y_6) \cdot v^B(y_8) \cdot v^{nC}(y_{10}) \cdot v^H(y_{13}) \cdot v^H(y_{14}) \cdot v^H(y_{15}) \cdot v^H(y_{16}) \right]; \\
 v^{nC}(z_2) &= \left[v^H(y_2) \cdot v^C(y_4) \cdot v^{nC}(y_5) \cdot v^H(y_6) \cdot v^B(y_8) \cdot v^{nC}(y_{10}) \cdot v^H(y_{13}) \cdot v^H(y_{14}) \cdot v^H(y_{15}) \cdot v^H(y_{16}) \right] \vee \\
 &\quad \vee \left[v^H(y_2) \cdot v^C(y_4) \cdot v^{nC}(y_5) \cdot v^H(y_6) \cdot v^B(y_8) \cdot v^{nC}(y_{10}) \cdot v^H(y_{13}) \cdot v^H(y_{14}) \cdot v^H(y_{15}) \cdot v^H(y_{16}) \right] \vee \\
 &\quad \vee \left[v^H(y_2) \cdot v^C(y_4) \cdot v^{nC}(y_5) \cdot v^H(y_6) \cdot v^B(y_8) \cdot v^{nC}(y_{10}) \cdot v^H(y_{13}) \cdot v^H(y_{14}) \cdot v^H(y_{15}) \cdot v^H(y_{16}) \right]; \\
 v^C(z_2) &= \left[v^H(y_2) \cdot v^C(y_4) \cdot v^{nC}(y_5) \cdot v^H(y_6) \cdot v^B(y_8) \cdot v^{nC}(y_{10}) \cdot v^H(y_{13}) \cdot v^H(y_{14}) \cdot v^H(y_{15}) \cdot v^H(y_{16}) \right] \vee \\
 &\quad \vee \left[v^H(y_2) \cdot v^C(y_4) \cdot v^{nC}(y_5) \cdot v^H(y_6) \cdot v^B(y_8) \cdot v^{nC}(y_{10}) \cdot v^H(y_{13}) \cdot v^H(y_{14}) \cdot v^H(y_{15}) \cdot v^H(y_{16}) \right] \vee \\
 &\quad \vee \left[v^H(y_2) \cdot v^C(y_4) \cdot v^{nC}(y_5) \cdot v^H(y_6) \cdot v^B(y_8) \cdot v^{nC}(y_{10}) \cdot v^H(y_{13}) \cdot v^H(y_{14}) \cdot v^H(y_{15}) \cdot v^H(y_{16}) \right]; \\
 v^{6C}(z_2) &= \left[v^H(y_2) \cdot v^C(y_4) \cdot v^{nC}(y_5) \cdot v^H(y_6) \cdot v^B(y_8) \cdot v^{nC}(y_{10}) \cdot v^H(y_{13}) \cdot v^H(y_{14}) \cdot v^H(y_{15}) \cdot v^H(y_{16}) \right] \vee \\
 &\quad \vee \left[v^H(y_2) \cdot v^C(y_4) \cdot v^{nC}(y_5) \cdot v^H(y_6) \cdot v^B(y_8) \cdot v^{nC}(y_{10}) \cdot v^H(y_{13}) \cdot v^H(y_{14}) \cdot v^H(y_{15}) \cdot v^H(y_{16}) \right] \vee \\
 &\quad \vee \left[v^H(y_2) \cdot v^C(y_4) \cdot v^{nC}(y_5) \cdot v^H(y_6) \cdot v^B(y_8) \cdot v^{nC}(y_{10}) \cdot v^H(y_{13}) \cdot v^H(y_{14}) \cdot v^H(y_{15}) \cdot v^H(y_{16}) \right];
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

$$v^B(z_2) = \left[v^H(y_2) \cdot v^C(y_4) \cdot v^{nC}(y_5) \cdot v^H(y_6) \cdot v^B(y_8) \cdot v^{nC}(y_{10}) \cdot v^H(y_{13}) \cdot v^H(y_{14}) \cdot v^H(y_{15}) \cdot v^H(y_{16}) \right] \vee \\ \vee \left[v^H(y_2) \cdot v^C(y_4) \cdot v^{nC}(y_5) \cdot v^H(y_6) \cdot v^B(y_8) \cdot v^{nC}(y_{10}) \cdot v^H(y_{13}) \cdot v^H(y_{14}) \cdot v^H(y_{15}) \cdot v^H(y_{16}) \right] \vee \\ \vee \left[v^H(y_2) \cdot v^C(y_4) \cdot v^{nC}(y_5) \cdot v^H(y_6) \cdot v^B(y_8) \cdot v^{nC}(y_{10}) \cdot v^H(y_{13}) \cdot v^H(y_{14}) \cdot v^H(y_{15}) \cdot v^H(y_{16}) \right].$$

Соответственно веса правил, которые характеризуют субъективные меры уверенности определенного эксперта в этом правиле, не указаны, так как при грубой наладке их значения равняются единицы. И каждая входная лингвистическая переменная $y_1 - y_{17}$ имеет тогда свои собственные функции принадлежности нечетким качественным термам (Н, нС, С, вС, В), что используются в уравнениях. Для упрощения интеллектуального прогнозирующего моделирования целесообразно использовать для всех переменных одну общую форму стандартной функции принадлежности.

Конечно, решение с использованием дифференциального диагноза по существу есть выбор одной или нескольких из существующих альтернатив. Решение необходимо определять как нечеткое множество в пространстве альтернатив, что находятся в результате пересечения заданных целей и ограничений. При этом понятие решения как расплывчатого множества в пространстве альтернатив может считаться вначале искусственным, но действительно расплывчатое решение можно рассматривать как некоторую инструкцию, в целом расплывчатость которой является выводом неточности общей формализации поставленных целей и соответственно ограничений. Близость решения к поставленным целям определяется в каждом случае сформированным значением соответствующей функции принадлежности. Для заданных значений режимных технологических и технических параметров амплитудных значений выделенных информативных частотных интервалов спектров потребляемой приводным электродвигателем барабанной мельницы мгновенных значений мощности на оперативном часовом срезе процесса измельчения по заполнения барабана рудой будет соответственно равно:

$$\begin{array}{lllll} y_1^* = 0.1; & y_2^* = 0.005; & y_3^* = 0.125; & y_4^* = 0.025; & y_5^* = 0.008 \\ y_6^* = 0.001; & y_7^* = 0.001; & y_8^* = 0.008; & y_9^* = 0.0008; & y_{10}^* = 0.012 \\ y_{11}^* = 0.0005; & y_{12}^* = 0.0008; & y_{13}^* = 0.0005; & y_{14}^* = 0.0007 & y_{15}^* = 0.0005 \\ y_{16}^* = 0.02 & y_{17}^* = 0.0005 & & & \end{array}$$

Были найдены значения стандартных функций принадлежности в точках, $i = \overline{1,17}$ для всех термов соответственно технологическим и техническим параметрам остаточного ресурса интегрированного износа лифтеров.

Программная реализация системы нечетких логических уравнений, что связывают стандартные функции принадлежности диагнозов дифференциаль-

ной диагностики степени износа конструктивных элементов – лифтеров по высоте и соответствующих входных лингвистических переменных и качественных термов относительно режимным параметров технической стороны БМ (степень износа лифтеров по частотным интервалам спектров моментных функций потребляемой приводными электродвигателями активной мощности) будет иметь вид:

$$\begin{aligned}
 Nz10 &= \max \left[\min(Y100_{0,6}, Y100_{2,6}, Y100_{6,2}, Y100_{11,2}, Y100_{12,2}), \right. \\
 &\quad \min(Y100_{0,6}, Y100_{2,6}, Y100_{6,5}, Y100_{11,4}, Y100_{12,6}), ; \\
 &\quad \left. \min(Y100_{0,6}, Y100_{2,6}, Y100_{6,2}, Y100_{11,2}, Y100_{12,2}) \right] \\
 nCz10 &= \max \left[\min(Y100_{0,5}, Y100_{2,6}, Y100_{6,4}, Y100_{11,2}, Y100_{12,2}), \right. \\
 &\quad \min(Y100_{0,5}, Y100_{2,6}, Y100_{6,4}, Y100_{11,2}, Y100_{12,2}), ; \\
 &\quad \left. \min(Y100_{0,5}, Y100_{2,6}, Y100_{6,4}, Y100_{11,2}, Y100_{12,2}) \right] \\
 Cz10 &= \max \left[\min(Y100_{0,6}, Y100_{2,6}, Y100_{6,6}, Y100_{11,2}, Y100_{12,2}), \right. \\
 &\quad \min(Y100_{0,6}, Y100_{2,6}, Y100_{6,6}, Y100_{11,2}, Y100_{12,2}), ; \\
 &\quad \left. \min(Y100_{0,6}, Y100_{2,6}, Y100_{6,6}, Y100_{11,2}, Y100_{12,2}) \right] \quad (5) \\
 \nu Cz10 &= \max \left[\min(Y100_{0,2}, Y100_{2,6}, Y100_{6,6}, Y100_{11,2}, Y100_{12,2}), \right. \\
 &\quad \min(Y100_{0,6}, Y100_{2,5}, Y100_{6,2}, Y100_{11,2}, Y100_{12,2}), ; \\
 &\quad \left. \min(Y100_{0,2}, Y100_{2,6}, Y100_{6,6}, Y100_{11,2}, Y100_{12,2}) \right] \\
 Vz10 &= \max \left[\min(Y100_{0,6}, Y100_{2,2}, Y100_{6,6}, Y100_{11,6}, Y100_{12,2}), \right. \\
 &\quad \min(Y100_{0,6}, Y100_{2,6}, Y100_{6,6}, Y100_{11,6}, Y100_{12,2}), \cdot \\
 &\quad \left. \min(Y100_{0,6}, Y100_{2,6}, Y100_{6,6}, Y100_{11,6}, Y100_{12,2}) \right]
 \end{aligned}$$

Значения диагнозов остаточного ресурса степени интегрированного износа конструктивных элементов – лифтеров по высоте $d_1 - d_6$, при дифференциальной интеллектуальной диагностики, определит система нечетких логических уравнений в следующем виде:

$$\begin{aligned}
 D10 &= \max \left[\min(Y100_{8,2}, Nz10, Nz20), \min(Y100_{8,2}, nCz10, nCz20), \min(Y100_{8,2}, nCz10, Cz20) \right]; \\
 D20 &= \max \left[\min(Y100_{8,2}, nCz10, nCz20), \min(Y100_{8,2}, Cz10, nCz20), \min(Y100_{8,2}, nCz10, Cz20) \right]
 \end{aligned}$$

$$D30 = \max \left[\min(Y100_{8,2}, nCz10, Cz20), \min(Y100_{8,2}, vCz10, nCz20), \min(Y100_{8,2}, Cz10, Cz20) \right]; \quad (6)$$

$$D40 = \max \left[\min(Y100_{8,2}, Cz10, vCz20), \min(Y100_{8,2}, vCz10, vCz20), \min(Y100_{8,2}, vCz10, vCz20) \right]$$

$$D50 = \max \left[\min(Y100_{8,2}, Vz10, Vz20), \min(Y100_{8,2}, Vz10, vCz20), \min(Y100_{8,2}, Vz10, vCz20) \right]$$

$$D60 = \max \left[\min(Y100_{8,2}, Vz10, Vz20), \min(Y100_{8,2}, Vz10, vCz20), \min(Y100_{8,2}, Vz10, vCz20) \right]$$

По наибольшему значению стандартных функций принадлежности $D10$, $D20$, $D30$, $D40$, $D50$, $D60$ соответственно режимным технологическим и техническим параметрам ресурсного состояния степени интегрированного износа лифтеров дифференциальной диагностики определяется их оперативный диагноз остаточного ресурса соответственно заданных диапазонов.

Для, например, одного из расчетных случаев величины соответственно равны $D10 = 0.842$, $D20 = 0.051$, $D30 = 0.051$, $D40 = 0.051$, $D50 = 0.051$, $D60 = 0.051$. Здесь четко идентифицируется $\varphi = 5\%$ заполнения барабана измельчаемой рудой при низкой степени износа конструктивных элементов – лифтеров по высоте. Сравнимая точность получена и по другим заполнениям. При этом некоторая размытость решения определяется только при значении $\varphi = 33\%$ по значению степени заполнению барабана мельницы рудой.

Выводы. Таким образом, установлено, что технологический процесс самоизмельчения руд в барабанных мельницах мокрого самоизмельчения может быть, с достаточной для практики точностью, описан с помощью интеллектуальных методов идентификации нечеткими множествами. И впервые полученные интеллектуальные прогнозирующие модели процесса самоизмельчения руд, в отличии от известных методов визуального контроля степени износа конструктивных элементов – лифтеров по высоте при остановках мельниц, обеспечивают возможность осуществления автоматического контроля данного технического параметра по информативным признакам спектральных плотностей моментных функций сигналов мощности, при разработке соответствующего программного обеспечения.

Перечень ссылок

1. Мещеряков, Л.И., Дудля, М.А., Бородай, В.А., Хархардина, Д.В. (2011). Исследование воздействия технологических нагрузок на локально устойчивые состояния барабанных мельниц. *Збірник наукових праць НГУ*, 28–36.
2. Горбійчук, М.І., Пістун, Є.П., (2010). *Числові методи і моделювання на ЕОМ*. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ.
3. Мещеряков, Л.И. (2009) *Методи і моделі ідентифікації та управління гірничими технологічними комплексами*. Dnepropetrovsk: NGU.

4. Meshcheriakov, L., Tokar, L., Ziborov, K., (2015). Identification of stabilizing modes for the parameters of drilling tools. *Energy Efficiency Improvement of Geotechnical Systems*, 135-142.

ABSTRACT

Purpose. There is research of possibility of authentication of degree of wear of structural elements of armour - elevator operators on the basis of method of authentication of nonlinear objects the unclear bases of knowledge.

The methodology. The worked out intellectual forecasting model of complex estimation of the state of lining-up of mill is used on the basis of method of authentication of nonlinear objects the unclear bases of knowledge.

Finding. The intellectual forecasting model of complex estimation of the state of lining-up of mill is formed as a result.

The originality. Consists of forming and use in the structure of forecasting model of method of authentication of nonlinear objects the unclear bases of knowledge.

Practical implications. Expediency of the use in the structure of forecasting model of method of authentication of nonlinear objects the unclear bases of knowledge is well-proven.

Keywords: *subsystem of diagnosing, informing descriptions, authentication, visualization, correlation function, spectral closeness*

УДК 681.518.54

© Л.І. Мещеряков, С.І. Випанасенко, Н.С. Дрешпак, А.Л. Ширін

ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ ПІДСИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ ГІРНИЧИХ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ

© L. Meshcheriakov, S. Vypanasenko, N. Dreshpak, A. Shyrin

FORMING OF STRUCTURE OF SUBSYSTEM OF DIAGNOSTICS OF MOUNTAIN ELECTROMECHANICS COMPLEXES

Представлена сформована структура підсистеми діагностування гірничих електромеханічних комплексів в сукупності базових функціональних блоків. Підсистема націлена на забезпечення всієї множини основних вимог існування процесу діагностування з використанням інформаційних характеристик енергетичних параметрів.

Представлена сформированная структура подсистемы диагностирования горных электромеханических комплексов в совокупности базовых функциональных блоков. Подсистема нацелена на обеспечение всего множества основных требований существования процесса диагностирования с использованием информационных характеристик энергетических параметров.