

ОЦЕНКА ЛИНГВИСТИЧЕСКИХ ПЕРЕМЕННЫХ И ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ НЕЧЕТКИХ ЛОГИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ БАРАБАНЫХ МЕЛЬНИЦ

Осуществлены оценка лингвистических переменных и формирование системы нечетких логических уравнений интеллектуальной идентификации барабанных мельниц.

Здійснені оцінка лінгвістичних змінних та формування системи нечітких логічних рівнянь інтелектуальної ідентифікації барабаних млинів.

Are carried out *estimation* of linguistic variables and forming of the system of unclear logical equalizations of intellectual authentication of drum mills.

Экспертную матрицу знаний для оценки оперативного состояния конструктивных элементов брони барабанной мельницы мокрого самоизмельчения, в зависимости от основных влияющих факторов, можно определить через модель комплексной оценки на базе метода идентификации нелинейных объектов нечеткими базами знаний. Построение модели в этом случае необходимо произвести в два этапа: первый – структурная идентификация; второй – параметрическая идентификация. При этом на первом этапе строится структура зависимости возникающего отказа от влияющих факторов с применением экспертных правил <ЕСЛИ – ТО>. И на втором этапе проводится настройка модели путем подбора таких параметров формы функций принадлежности нечетких термов и весов правил <ЕСЛИ – ТО>, которые обеспечивают минимальное расхождение модельных и экспериментальных результатов [1, 2].

Для оценки значений формируемых лингвистических переменных интеллектуальной технологии идентификации барабанных мельниц в работе используется стандартная шкала качественных термов: Н – низкий, нС – ниже среднего, С – средний, вС – выше среднего, В – высокий. При этом каждый из заданных качественных термов остаточного ресурса интегрированного износа конструктивных элементов брони – лифтеров представляет нечеткое множество, что обуславливается и задается посредством соответствующих функций принадлежности. Используя введенные качественные термы и знания эксперта в области измельчения в барабанных мельницах можно представить сформированные соотношения в виде табл. 1 – табл. 4 качественного соответствия дерева логического вывода дифференциальной диагностики интегрированного износа конструктивных элементов брони.

При этом лингвистическая переменная z_1 из спектра сигнала активной мощности приводного электродвигателя барабанной мельницы, обуславливается знаниями именно оперативного технологического состояния мельницы, и соответствующие ей качественные термы формируются через качественные термы режимных технологических переменных (диапазоны изменения пара-

метров указаны в скобках). Лингвистическая переменная z_2 в свою очередь обуславливается знаниями именно оперативного технического состояния барабанной мельницы, а соответствующие ей качественные термы формируются через качественные термы режимных технических переменных.

Таблица 1

Соответствия числовых значений основных технологических и технических параметров 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
$y_{12}(5.5-6.0)$	0.0009-0.0031	0.0031-0.0053	0.0053-0.0075	0.0076-0.0098	0.0098-0.012
$y_{13}(6.0-6.5)$	0.0003-0.0014	0.0014-0.0025	0.0025-0.0037	0.0037-0.0049	0.0049-0.006
$y_{14}(6.5-7.0)$	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
$y_{17}(8.0-9.0)$	0.0004-0.0021	0.0021-0.0038	0.0038-0.0056	0.0056-0.0073	0.0073-0.009

Используя форматизированные знания о соотношении лингвистических переменных и качественных термов ресурсных диагнозов интегрированного износа конструктивных элементов брони – лифтеров и операции “*” * (И – min), “∨” ∨ ∨ (ИЛИ – max), можно записать системы нечетких логических уравнений, что связывают функции принадлежности интеллектуальных диагнозов и соответствующих входных лингвистических переменных и качественных термов.

Таблица 2

Знания о соотношении 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	

Таблица 3

Знания о соотношении лингвистических переменных и качественных термов ресурсных диагнозов интегрированного 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

Знания о соотношении лингвистических переменных и качественных термов ресурсных диагнозов интегрированного 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	

Относительно типов интеллектуальных диагнозов остаточного ресурса интегрированного износа конструктивных элементов брони – лифтеров $d_1 - d_6$ система нечетких логических уравнений будет иметь вид:

$$\begin{aligned}
 v^{d_1}(d) &= [v^H(z_1) \cdot v^H(z_2) \cdot v^H(y_9)] \vee [v^H(z_1) \cdot v^H(z_2) \cdot v^{nC}(y_9)] \vee \\
 &\quad \vee [v^{nC}(z_1) \cdot v^H(z_2) \cdot v^{nC}(y_9)]; \\
 v^{d_2}(d) &= [v^H(z_1) \cdot v^H(z_2) \cdot v^H(y_9)] \vee [v^H(z_1) \cdot v^H(z_2) \cdot v^{nC}(y_9)] \vee \\
 &\quad \vee [v^{nC}(z_1) \cdot v^H(z_2) \cdot v^{nC}(y_9)]; \\
 v^{d_3}(d) &= [v^H(z_1) \cdot v^H(z_2) \cdot v^H(y_9)] \vee [v^H(z_1) \cdot v^H(z_2) \cdot v^{nC}(y_9)] \vee \\
 &\quad \vee [v^{nC}(z_1) \cdot v^H(z_2) \cdot v^{nC}(y_9)];
 \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned}
v^{d_4}(d) &= [v^H(z_1) \cdot v^H(z_2) \cdot v^H(y_9)] \vee [v^H(z_1) \cdot v^H(z_2) \cdot v^{HC}(y_9)] \vee \\
&\quad \vee [v^{HC}(z_1) \cdot v^H(z_2) \cdot v^{HC}(y_9)]; \\
v^{d_5}(d) &= [v^H(z_1) \cdot v^H(z_2) \cdot v^H(y_9)] \vee [v^H(z_1) \cdot v^H(z_2) \cdot v^{HC}(y_9)] \vee \\
&\quad \vee [v^{HC}(z_1) \cdot v^H(z_2) \cdot v^{HC}(y_9)]. \\
v^{d_6}(d) &= [v^H(z_1) \cdot v^H(z_2) \cdot v^H(y_9)] \vee [v^H(z_1) \cdot v^H(z_2) \cdot v^{HC}(y_9)] \vee \\
&\quad \vee [v^{HC}(z_1) \cdot v^H(z_2) \cdot v^{HC}(y_9)].
\end{aligned}$$

В результате система нечетких логических уравнений, определяющих 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 технологическому состоянию брони барабанной мельницы, будет иметь следующий вид:

$$\begin{aligned}
v^H(z_1) &= [v^B(y_1) \cdot v^B(y_3) \cdot v^H(y_7) \cdot v^H(y_{12}) \cdot v^H(y_{13})] \vee [v^H(y_1) \cdot v^B(y_3) \cdot v^{6C}(y_7) \cdot v^C(y_{12}) \cdot v^B(y_1) \\
&\quad \vee [v^B(y_1) \cdot v^B(y_3) \cdot v^H(y_7) \cdot v^H(y_{12}) \cdot v^H(y_{13})]; \\
v^{HC}(z_1) &= [v^{6C}(y_1) \cdot v^B(y_3) \cdot v^C(y_7) \cdot v^H(y_{12}) \cdot v^H(y_{13})] \vee [v^{6C}(y_1) \cdot v^B(y_3) \cdot v^C(y_7) \cdot v^H(y_{12}) \cdot v^H(y_1) \\
&\quad \vee [v^{6C}(y_1) \cdot v^B(y_3) \cdot v^C(y_7) \cdot v^H(y_{12}) \cdot v^H(y_{13})]; \\
v^C(z_1) &= [v^B(y_1) \cdot v^B(y_3) \cdot v^H(y_7) \cdot v^H(y_{12}) \cdot v^H(y_{13})] \vee [v^H(y_1) \cdot v^B(y_3) \cdot v^{6C}(y_7) \cdot v^C(y_{12}) \cdot v^B(y_1) \\
&\quad \vee [v^B(y_1) \cdot v^B(y_3) \cdot v^H(y_7) \cdot v^H(y_{12}) \cdot v^H(y_{13})]; \\
v^{6C}(z_1) &= [v^B(y_1) \cdot v^B(y_3) \cdot v^H(y_7) \cdot v^H(y_{12}) \cdot v^H(y_{13})] \vee [v^H(y_1) \cdot v^B(y_3) \cdot v^{6C}(y_7) \cdot v^C(y_{12}) \cdot v^B(y_1) \\
&\quad \vee [v^B(y_1) \cdot v^B(y_3) \cdot v^H(y_7) \cdot v^H(y_{12}) \cdot v^H(y_{13})]; \\
v^B(z_1) &= [v^B(y_1) \cdot v^B(y_3) \cdot v^H(y_7) \cdot v^H(y_{12}) \cdot v^H(y_{13})] \vee [v^H(y_1) \cdot v^B(y_3) \cdot v^{6C}(y_7) \cdot v^C(y_{12}) \cdot v^B(y_1) \\
&\quad \vee [v^B(y_1) \cdot v^B(y_3) \cdot v^H(y_7) \cdot v^H(y_{12}) \cdot v^H(y_{13})].
\end{aligned} \tag{2}$$

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 технического состояния барабанной мельницы будет сформирована так:

$$\begin{aligned}
v^H(z_2) &= \left[v^H(y_2) \cdot v^C(y_4) \cdot v^{HC}(y_5) \cdot v^H(y_6) \cdot v^B(y_8) \cdot v^{HC}(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^{HC}(y_5) \cdot v^H(y_6) \cdot v^B(y_8) \cdot v^{HC}(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^{HC}(y_5) \cdot v^H(y_6) \cdot v^B(y_8) \cdot v^{HC}(y_{10}) \cdot v^H(y_{13}) \cdot v^H(y_{14}) \cdot v^H(y_{15}) \cdot v^H(y_{16}) \right]; \\
v^{HC}(z_2) &= \left[v^H(y_2) \cdot v^C(y_4) \cdot v^{HC}(y_5) \cdot v^H(y_6) \cdot v^B(y_8) \cdot v^{HC}(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^{HC}(y_5) \cdot v^H(y_6) \cdot v^B(y_8) \cdot v^{HC}(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^{HC}(y_5) \cdot v^H(y_6) \cdot v^B(y_8) \cdot v^{HC}(y_{10}) \cdot v^H(y_{13}) \cdot v^H(y_{14}) \cdot v^H(y_{15}) \cdot v^H(y_{16}) \right]; \\
&\hspace{20em} (3) \\
v^C(z_2) &= \left[v^H(y_2) \cdot v^C(y_4) \cdot v^{HC}(y_5) \cdot v^H(y_6) \cdot v^B(y_8) \cdot v^{HC}(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^{HC}(y_5) \cdot v^H(y_6) \cdot v^B(y_8) \cdot v^{HC}(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^{HC}(y_5) \cdot v^H(y_6) \cdot v^B(y_8) \cdot v^{HC}(y_{10}) \cdot v^H(y_{13}) \cdot v^H(y_{14}) \cdot v^H(y_{15}) \cdot v^H(y_{16}) \right]; \\
v^{vC}(z_2) &= \left[v^H(y_2) \cdot v^C(y_4) \cdot v^{HC}(y_5) \cdot v^H(y_6) \cdot v^B(y_8) \cdot v^{HC}(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^{HC}(y_5) \cdot v^H(y_6) \cdot v^B(y_8) \cdot v^{HC}(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^{HC}(y_5) \cdot v^H(y_6) \cdot v^B(y_8) \cdot v^{HC}(y_{10}) \cdot v^H(y_{13}) \cdot v^H(y_{14}) \cdot v^H(y_{15}) \cdot v^H(y_{16}) \right]; \\
v^B(z_2) &= \left[v^H(y_2) \cdot v^C(y_4) \cdot v^{HC}(y_5) \cdot v^H(y_6) \cdot v^B(y_8) \cdot v^{HC}(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^{HC}(y_5) \cdot v^H(y_6) \cdot v^B(y_8) \cdot v^{HC}(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^{HC}(y_5) \cdot v^H(y_6) \cdot v^B(y_8) \cdot v^{HC}(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}$$

При этом весовые значения правил, что характеризуют субъективные меры уверенности эксперта в этом правиле, не указаны, так как при грубой наладке их значения равняются единице. В общем случае каждая входная лингвистическая переменная $y_1 - y_{17}$ имеет свои собственные функции принадлежности нечетким качественным термам (Н, нС, С, вС, В). Для упрощения моделирования целесообразно использовать для всех переменных одну общую форму функции принадлежности. Для этого можно использовать нормирование интервалов изменений каждой лингвистической переменной к одному универсальному интервалу посредством стандартных соотношений [1, 3]:

$$v^j(y_i) = \tilde{v}^j(u); \quad u = 4 \frac{y_i - \underline{y}_i}{\overline{y}_i - \underline{y}_i}; \quad j = H, нС, С, вС, В, \quad (4)$$

где $[\underline{y}_i, \overline{y}_i]$ – является интервалом изменения лингвистической переменной.

Стандартная аналитическая модель общей функции принадлежности для каждой лингвистической переменной y_i в этом случае отобразится в виде

$$\tilde{v}^j(u) = \frac{1}{1 + \left(\frac{u-b}{c}\right)^2}. \quad (5)$$

Использованные параметры общей функции принадлежности приведены в табл. 5. Выбор таких значений функций обусловлено тем, что они в пределах надежности точно аппроксимируют функции принадлежности, полученные экспертом методом парных сравнений.

Таблица 5

Значение параметров стандартных грубых функций принадлежности

Терм	Н	нС	С	вС	В
b	0	1	2	3	4
c	0.923	0.923	0.923	0.923	0.923

В качестве алгоритма принятия решение относительно остаточного ресурса интегрированного износа лифтеров используются нечеткие логические уравнения вместе с функциями принадлежности нечетких термов по следующим стандартным алгоритмам интеллектуальных технологий идентификации:

1. Фиксируется значение режимных технологических и технических параметров остаточного ресурсного состояния интегрированного износа лифтеров

$$y^* = (y_1^*, y_2^*, \dots, y_{17}^*).$$

2. Используя стандартную модель (4) и параметры b и c из табл. 5, определяются значения функций принадлежности, при фиксированных значениях режимных технологических и технических параметров $i = \overline{1, 17}$.

3. Используя логические уравнения (3) – (5), обсчитываются стандартные функции принадлежности $v^{d_j}(y_1^*, y_2^*, \dots, y_{17}^*)$ при векторе состояния $y^* = (y_1^*, y_2^*, \dots, y_{17}^*)$ для всех ресурсных диагнозов d_1, d_2, \dots, d_6 . При этом логические операции “И” (\wedge) и “ИЛИ” (\vee) над функциями принадлежности заменяются операциями \min и \max соответственно выражениям:

$$v(a) \wedge v(b) = \min[v(a), v(b)];$$

$$v(a) \vee v(b) = \max[v(a), v(b)].$$

4. Определяется через найденное решение d_j^* дифференциального диагноза по остаточному ресурсу интегрированного износа лифтеров для каждого варианта:

$$v^{d_j^*}(y_1^*, y_2^*, \dots, y_{17}^*) = \max \left[v^{d_j}(y_1^*, y_2^*, \dots, y_{17}^*) \right].$$

Следует отметить, что решение из дифференциального диагноза по существу есть выбор одной или нескольких из существующих альтернатив. И расплывчатое решение необходимо определять как нечеткое множество в пространстве альтернатив, что находятся в результате пересечения заданных целей и ограничений. Понятие решения как расплывчатого множества в пространстве альтернатив может считаться сначала искусственным, но действительно расплывчатое решение можно рассматривать как некоторую инструкцию, расплывчатость которой является выводом неточности формализации поставленных целей и ограничений. При этом близость решения к поставленным целям определяется в каждом случае сформированным значением соответствующей функции принадлежности. Например, для заданных значений режимных технологических и технических параметров амплитудных значений частотных интервалов спектров потребляемой приводным электродвигателем мельницы активной мощности на оперативном часовом срезе процесса измельчения по заполнению барабана рудой соответственно:

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

– найденные значения стандартных функций принадлежности в точках, $i = \overline{1,17}$ для термов соответственно режимным технологическим и техническим параметрам остаточного ресурса интегрированного износа лифтеров представлены в табл. 6.

Таблица 6

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

	y_i^*	u_i^*	$v^H(y_j^*)$	$v^{HC}(y_j^*)$	$v^C(y_j^*)$	$v^{eC}(y_j^*)$	$v^B(y_j^*)$
1	0.1	3.636	0.061	0.109	0.241	0.678	0.866
2	0.012	0.0	1	0.46	0.176	0.086	0.051
3	0.125	4	0.051	0.086	0.176	0.46	1
4	0.025	0.0	1	0.46	0.176	0.086	0.051
5	0.009	0.0	1	0.46	0.176	0.086	0.051
6	0.002	0.25	0.932	0.602	0.218	0.101	0.057
7	0.001	0.0	1	0.46	0.176	0.086	0.051
8	0.006	0.0	1	0.46	0.176	0.086	0.051
9	0.009	0.0	1	0.46	0.176	0.086	0.051
10	0.012	1.714	0.225	0.625	0.913	0.34	0.14
11	0.0005	0.0	1	0.46	0.176	0.086	0.051
12	0.0009	0.0	1	0.46	0.176	0.086	0.051

13	0.0005	0.14	0.977	0.535	0.198	0.094	0.054
14	0.0007	1.6	0.25	0.703	0.842	0.303	0.129
15	0.0005	0.0	1	0.46	0.176	0.086	0.051
16	0.02	4	0.051	0.086	0.176	0.46	1
17	0.0005	0.047	0.997	0.484	0.183	0.089	0.052

Программная реализация системы нечетких логических уравнений, что связывают стандартные функции принадлежности диагнозов и соответствующих входных лингвистических переменных и качественных термов относительно режимным параметрам технической стороны мельницы (степень износа лифтеров по частотным интервалам спектров потребляемой мощности) будет иметь вид:

$$\begin{aligned}
Nz10 &= \max \left[\min (Y100_{0,6}, Y100_{2,6}, Y100_{6,2}, Y100_{11,2}, Y100_{12,2}), \right. \\
&\quad \min (Y100_{0,6}, Y100_{2,6}, Y100_{6,5}, Y100_{11,4}, Y100_{12,6}), ; \\
&\quad \left. \min (Y100_{0,6}, Y100_{2,6}, Y100_{6,2}, Y100_{11,2}, Y100_{12,2}) \right] \\
nCz10 &= \max \left[\min (Y100_{0,5}, Y100_{2,6}, Y100_{6,4}, Y100_{11,2}, Y100_{12,2}), \right. \\
&\quad \min (Y100_{0,5}, Y100_{2,6}, Y100_{6,4}, Y100_{11,2}, Y100_{12,2}), ; \\
&\quad \left. \min (Y100_{0,5}, Y100_{2,6}, Y100_{6,4}, Y100_{11,2}, Y100_{12,2}) \right] \\
Cz10 &= \max \left[\min (Y100_{0,6}, Y100_{2,6}, Y100_{6,6}, Y100_{11,2}, Y100_{12,2}), \right. \\
&\quad \min (Y100_{0,6}, Y100_{2,6}, Y100_{6,6}, Y100_{11,2}, Y100_{12,2}), ; \\
&\quad \left. \min (Y100_{0,6}, Y100_{2,6}, Y100_{6,6}, Y100_{11,2}, Y100_{12,2}) \right] \\
vCz10 &= \max \left[\min (Y100_{0,2}, Y100_{2,6}, Y100_{6,6}, Y100_{11,2}, Y100_{12,2}), \right. \\
&\quad \min (Y100_{0,6}, Y100_{2,5}, Y100_{6,2}, Y100_{11,2}, Y100_{12,2}), ; \\
&\quad \left. \min (Y100_{0,2}, Y100_{2,6}, Y100_{6,6}, Y100_{11,2}, Y100_{12,2}) \right] \\
Vz10 &= \max \left[\min (Y100_{0,6}, Y100_{2,2}, Y100_{6,6}, Y100_{11,6}, Y100_{12,2}), \right. \\
&\quad \min (Y100_{0,6}, Y100_{2,6}, Y100_{6,6}, Y100_{11,6}, Y100_{12,2}), . \\
&\quad \left. \min (Y100_{0,6}, Y100_{2,6}, Y100_{6,6}, Y100_{11,6}, Y100_{12,2}) \right]
\end{aligned} \tag{6}$$

Относительно режимных параметров технологической стороны барабанной мельницы (степень заполнения барабана измельчаемой рудой) система нечетких логических уравнений запишется аналогичным образом.

И в результате относительно диагнозов остаточного ресурса степени интегрированного износа конструктивных элементов брони – лифтеров, система нечетких логических уравнений будет иметь вид:

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

$$D20 = \max \left[\min(Y100_{8,2}, nCz10, nCz20), \min(Y100_{8,2}, Cz10, nCz20), \min(Y100_{8,2}, nCz10, Cz20) \right];$$

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

(7)

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

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

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

За наибольшим значением стандартных функций принадлежности $D10, D20, D30, D40, D50, D60$ соответственно режимным технологическим и техническим параметрам ресурсного состояния степени интегрированного износа лифтеров определяется их оперативный диагноз остаточного ресурса соответственно заданных диапазонов. Для данного случая 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 низком значении износа высоты лифтеров. Аналогичная точность получена и по другим заполнениям. Размытость решения определяется только при значении $\varphi = 33\%$ по заполнению барабана рудой.

Список литературы

1. Мещеряков Л.И. Программное обеспечение интеллектуальной идентификации состояний барабанных мельниц / Л.И. Мещеряков, Ясир Юзеф Хуссейн Аль Хатиб, В.В. Прошниченко // Сб. науч. трудов НГАУ. – Днепропетровск, 2009. – № 33. Т.2.– С. 66–71.
2. Мещеряков Л.И. Идентификация информационного обеспечения технологических состояний барабанных мельниц / Л.И. Мещеряков, Ясир Юзеф Хуссейн Аль Хатиб, И.В. Биленко // Сб. науч. трудов НГАУ. – Днепропетровск, 2007. – № 29.– С. 246–250.
3. Мещеряков Л.И., Программное обеспечение идентификации состояний барабанных мельниц / Л.И. Мещеряков, Ясир Юзеф Хуссейн Аль Хатиб, А.И. Зубарев // Сб. науч. трудов НГАУ. – Днепропетровск, 2010. – № 34. Т.1 – С. 267–274.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Слесаревим В.В.
Надійшла до редакції 17.10.2012*