

*Г.В. Кузнецов, Л.И. Мещеряков, Т.В. Бабенко, д-ра техн. наук,
Ясир Юсеф Хусейн Аль Хаттаб, И.А. Чуркина, В.В. Вараксин
(Украина, Днепрпетровск, Национальный горный университет)*

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ СТЕПЕНИ ИЗНОСА ЛИФТЕРОВ ФУТЕРОВОЧНОЙ БРОНИ БАРАБАННЫХ МЕЛЬНИЦ

Рабочим инструментом барабанных мельниц (БМ) является футеровка, которая обеспечивает технологический процесс измельчения рудного заполнения при вращении барабана. При истирании и измельчении рудного заполнения интенсивно изнашивается и футеровка, которая состоит для мельниц мокрого самоизмельчения типа ММС 70*23, ММС 90*30 и других из футерующих плит и лифтеров. Выступающие лифтеры изнашиваются в этих мельницах наиболее сильно с торца, так как до уменьшения высоты на 40 % они не только обеспечивают подъем руды, но и удерживают над футерующими плитами защищающий слой измельчаемого материала, препятствуя их износу. Своевременная замена изношенных до уровня 40% лифтеров обеспечивает значительную экономию по дорогим футерующим плитам, продляя срок их эксплуатации. Непосредственный оперативный контроль параметра износа лифтеров невозможен. Поэтому актуальной является задача разработки способа косвенного контроля этого параметра.

Крайне перспективным в решении данной научной задачи является применение метода интеллектуальной идентификации по спектральным и моментным характеристикам энергетических сигналов, в частности, сигналу потребляемой мощности. Применение в качестве матрицы знаний различных интервалов по частоте спектров мгновенных значений мощности привода мельниц самоизмельчения обеспечило формирование дерева логического вывода диагностики износа лифтеров по частотным интервалам (рис. 1).

Структура модели для дифференциальной диагностики степени износа лифтеров БМ (рис. 1) формирует уравнения вида

$$\begin{aligned}d &= f_d(z_1, z_2, y_9); \\z_1 &= f_{z_1}(y_1, y_3, y_7, y_{12}, y_{13}); \\z_2 &= f_{z_2}(y_2, y_4, y_5, y_6, y_8, y_{10}, y_{11}, y_{14}, y_{15}, y_{16}, y_{17}).\end{aligned}\tag{1}$$

Таким образом, интеллектуальная идентификация по информативным интервалам спектральных и моментных характеристик мгновенных значений потребляемой приводным электродвигателем БМ мощности отображается не сложной графической структурой дерева логического вывода диагностики степени износа лифтеров и соответствующим аналитическим описанием.

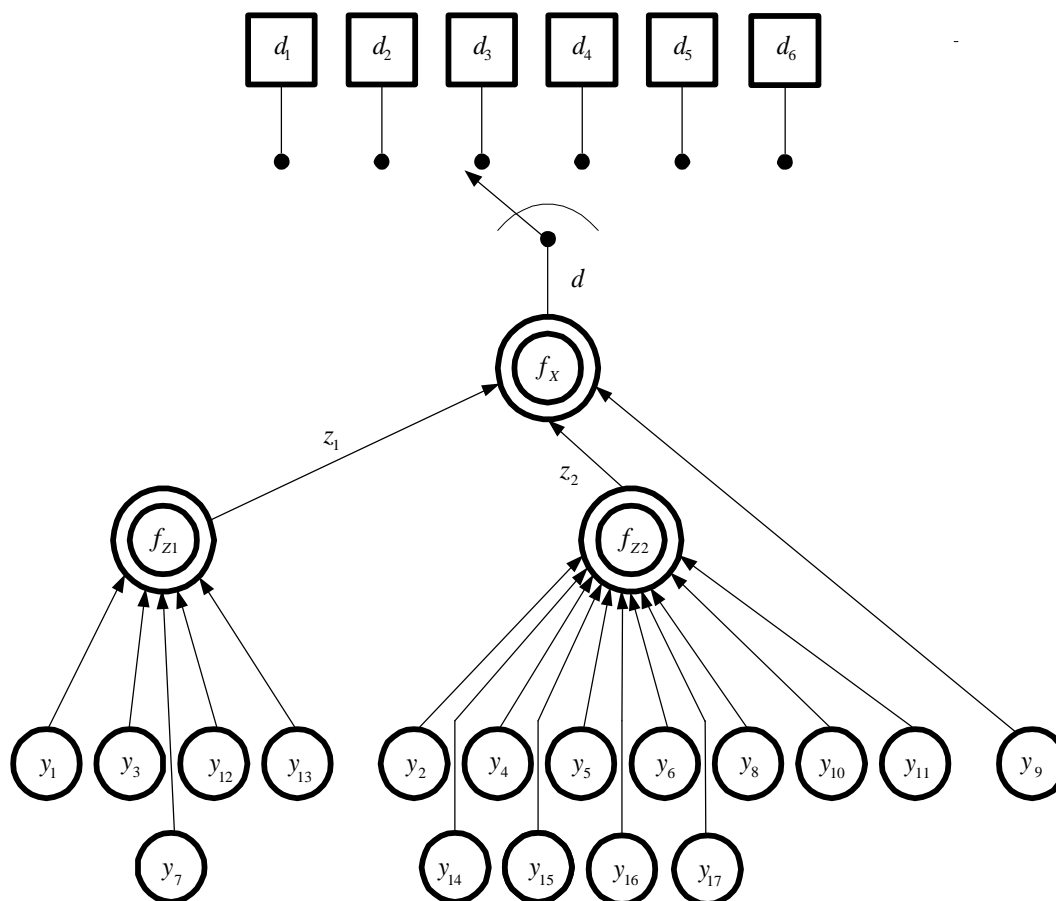


Рис. 1. Дерево логического вывода диагностики степени износа лифтеров БМ

Для оценки значений лингвистических переменных используется стандартная шкала качественных термов интеллектуальной технологии идентификации: Н – низкий, нС – ниже среднего, С – средний, вС – выше среднего, В – высокий.

Каждый из заданных качественных термов интеллектуальной технологии идентификации остаточного ресурса интегрированного износа лифтеров представляет собой нечеткое множество, что обуславливается и задается посредством соответствующих функций принадлежности. Используя введенные качественные термы и знание эксперта в области измельчения, позволяет представить сформированные соотношения (1) в виде табл. 1 – 4 качественного соответствия дерева логического вывода дифференциальной диагностики интегрированного износа лифтеров. При этом лингвистическое изменение, что обуславливается знаниями именно оперативного технического состояния БМ z_1 , и в свою очередь соответствующие ей качественные термы формируются через качественные термы режимных технических переменных (диапазон изменения указаны в скобках). Лингвистическая переменная z_2 в свою очередь обуславливается знаниями именно оперативного технологического состояния БМ, а соответствующие ей качественные термы формируются через режимные технологические переменные.

Используя форматизированные знания о соотношении лингвистических переменных и качественных термов ресурсных диагнозов интегрированного износа лифтеров и операции “*” (И – min) и “∨” (ИЛИ – max), можно запи-

сать системы нечетких логических уравнений, что связывают функции принадлежности диагнозов и соответствующих входных лингвистических переменных и качественных термов.

Таблица 1

Соответствия числовых значений основных технологических и технических параметров стандартной шкале качественных термов

| Параметры (интервалы спектра, 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 | 0,012-0,016 | 0,016-0,020 |
| $y_{17}(8,0-9,0)$ | 0,0004-0,00212 | 0,00212-0,00384 | 0,00384-0,00556 | 0,00556-0,00728 | 0,00728-0,009 |

Таблица 2

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 | Н |

| | | | |
|----|----|----|-------|
| Н | НС | НС | d_2 |
| НС | НС | Н | |
| Н | НС | НС | |
| НС | С | НС | |
| НС | НС | С | |
| С | НС | С | |
| ВС | ВС | НС | d_3 |
| ВС | С | С | |
| ВС | С | ВС | |
| С | ВС | ВС | d_4 |
| НС | ВС | ВС | |
| С | В | С | |
| ВС | ВС | В | d_5 |
| В | ВС | ВС | |
| В | В | В | |
| ВС | В | ВС | d_6 |
| С | В | ВС | |

Таблица 3

Знания о соотношении лингвистических переменных $y_1, y_3, y_7, y_{12}, y_{13}, z_1$ 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 диагнозов остаточного ресурса интегрированного износа лифтеров $d_1 - d_6$ система нечетких логических уравнений запишется так:

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

Система нечетких логических уравнений, определяющих соотношение лингвистических переменных $y_1, y_3, y_7, y_{12}, y_{13}$ и качественных термов за введенной лингвистической переменной z_1 по техническому состоянию брони БМ, будет иметь следующий вид:

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

Тогда система нечетких логических уравнений, которые определяют соотношение лингвистических переменных и качественных термов технологического состояния БМ будет сформирована так:

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

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

При этом веса правил, что характеризуют субъективные меры уверенности эксперта в этом правиле, не указаны, так как при грубой наладке их значения равны единицы. В общем случае каждая входная лингвистическая переменная $y_1 - y_{17}$ имеет свои собственные функции принадлежности нечетким качественным термам (Н, нС, С, вС, В), что применяются в уравнениях (2) – (4). 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, 2].

В качестве алгоритма принятия решения относительно остаточного ресурса интегрированного износа лифтеров используются нечеткие логические уравнения (2) – (4) вместе с функциями принадлежности нечетких термов за стандартными алгоритмами интеллектуальных технологий идентификации [3, 4].

Следует отметить, что установление дифференциального диагноза – это выбор одной или нескольких из существующих альтернатив. И расплывчатое решение или просто решение нужно 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. Так, для заданных ниже значений режимных технологических и технических параметров амплитудных значений частотных интервалов спектров потребляемой приводным электродвигателем БМ мощности на оперативном часовом срезе процесса измельчения

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

и найденные значения стандартных функций принадлежности в точках $i = \overline{1,17}$ для всех термов режимных технологических и технических параметров остаточного ресурса интегрированного износа лифтеров представлены в табл. 5.

Значения стандартных функций принадлежности в точках $i = \overline{1,17}$ для всех термов соответственно режимных технологических и технических параметров 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 | 0,46 | 0,176 | 0,086 | 0,051 |
| 3 | 0,125 | 4,0 | 0,051 | 0,086 | 0,176 | 0,46 | 1,0 |
| 4 | 0,025 | 0,0 | 1,0 | 0,46 | 0,176 | 0,086 | 0,051 |
| 5 | 0,009 | 0,0 | 1,0 | 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 | 0,46 | 0,176 | 0,086 | 0,051 |
| 8 | 0,006 | 0,0 | 1,0 | 0,46 | 0,176 | 0,086 | 0,051 |
| 9 | 0,009 | 0,0 | 1,0 | 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 | 0,46 | 0,176 | 0,086 | 0,051 |
| 12 | 0,0009 | 0,0 | 1,0 | 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 | 0,46 | 0,176 | 0,086 | 0,051 |
| 16 | 0,02 | 4,0 | 0,051 | 0,086 | 0,176 | 0,46 | 1,0 |
| 17 | 0,0005 | 0,047 | 0,997 | 0,484 | 0,183 | 0,089 | 0,052 |

Система нечетких логических уравнений, что связывают стандартные функции принадлежности диагнозов и соответствующих входных лингвистических переменных и качественных термов относительно режимных параметров технической стороны БМ (степень износа лифтеров по частотным интервалам спектров потребляемой мощности), будет следующей:

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

$$Vz10 = \max \left[\min (Y100_{0,6}, Y100_{2,2}, Y100_{6,6}, Y100_{11,6}, Y100_{12,2}), \right. \\ \min (Y100_{0,6}, Y100_{2,6}, Y100_{6,6}, Y100_{11,6}, Y100_{12,2}), \\ \left. \min (Y100_{0,6}, Y100_{2,6}, Y100_{6,6}, Y100_{11,6}, Y100_{12,2}) \right]$$

Относительно режимных параметров технологической стороны БМ (степень заполнения барабана измельчаемой рудой) система нечетких логических уравнений запишется так:

$$Nz20 = \max \left[\min (Y100_{1,2}, Y100_{3,2}, Y100_{4,2}, Y100_{5,2}, Y100_{7,2}, Y100_{9,4}, Y100_{10,2}, Y100_{13,4}, Y100_{14,2}, Y100_{15,6}, Y100_{16,2}), \right. \\ \min (Y100_{1,3}, Y100_{3,4}, Y100_{4,6}, Y100_{5,6}, Y100_{7,3}, Y100_{9,3}, Y100_{10,4}, Y100_{13,6}, Y100_{14,6}, Y100_{15,3}, Y100_{16,6}), \\ \left. \min (Y100_{1,2}, Y100_{3,2}, Y100_{4,2}, Y100_{5,2}, Y100_{7,2}, Y100_{9,4}, Y100_{10,2}, Y100_{13,4}, Y100_{14,2}, Y100_{15,6}, Y100_{16,2}) \right]$$

$$nCz20 = \max \left[\min (Y100_{1,6}, Y100_{3,5}, Y100_{4,4}, Y100_{5,6}, Y100_{7,2}, Y100_{9,6}, Y100_{10,2}, Y100_{13,2}, Y100_{14,2}, Y100_{15,4}, Y100_{16,2}), \right. \\ \min (Y100_{1,6}, Y100_{3,5}, Y100_{4,4}, Y100_{5,6}, Y100_{7,2}, Y100_{9,6}, Y100_{10,2}, Y100_{13,2}, Y100_{14,2}, Y100_{15,4}, Y100_{16,2}), \\ \left. \min (Y100_{1,6}, Y100_{3,5}, Y100_{4,4}, Y100_{5,6}, Y100_{7,2}, Y100_{9,6}, Y100_{10,2}, Y100_{13,2}, Y100_{14,2}, Y100_{15,4}, Y100_{16,2}) \right]$$

$$Cz20 = \max \left[\min (Y100_{1,2}, Y100_{3,5}, Y100_{4,3}, Y100_{5,5}, Y100_{7,2}, Y100_{9,5}, Y100_{10,6}, Y100_{13,2}, Y100_{14,2}, Y100_{15,2}, Y100_{16,2}), \right. \\ \min (Y100_{1,2}, Y100_{3,5}, Y100_{4,3}, Y100_{5,5}, Y100_{7,2}, Y100_{9,5}, Y100_{10,6}, Y100_{13,2}, Y100_{14,2}, Y100_{15,2}, Y100_{16,2}), \quad (6) \\ \left. \min (Y100_{1,2}, Y100_{3,5}, Y100_{4,3}, Y100_{5,5}, Y100_{7,2}, Y100_{9,5}, Y100_{10,6}, Y100_{13,2}, Y100_{14,2}, Y100_{15,2}, Y100_{16,2}) \right]$$

$$vCz20 = \max \left[\min (Y100_{1,2}, Y100_{3,6}, Y100_{4,2}, Y100_{5,2}, Y100_{7,2}, Y100_{9,2}, Y100_{10,2}, Y100_{13,6}, Y100_{14,2}, Y100_{15,4}, Y100_{16,2}), \right. \\ \min (Y100_{1,2}, Y100_{3,3}, Y100_{4,5}, Y100_{5,5}, Y100_{7,5}, Y100_{9,4}, Y100_{10,6}, Y100_{13,6}, Y100_{14,2}, Y100_{15,4}, Y100_{16,6}), \\ \left. \min (Y100_{1,2}, Y100_{3,6}, Y100_{4,2}, Y100_{5,2}, Y100_{7,2}, Y100_{9,2}, Y100_{10,2}, Y100_{13,6}, Y100_{14,2}, Y100_{15,4}, Y100_{16,2}) \right]$$

$$Vz20 = \max \left[\min (Y100_{1,2}, Y100_{3,3}, Y100_{4,5}, Y100_{5,2}, Y100_{7,6}, Y100_{9,6}, Y100_{10,6}, Y100_{13,6}, Y100_{14,2}, Y100_{15,4}, Y100_{16,5}), \right. \\ \min (Y100_{1,6}, Y100_{3,5}, Y100_{4,4}, Y100_{5,3}, Y100_{7,6}, Y100_{9,5}, Y100_{10,1}, Y100_{13,3}, Y100_{14,5}, Y100_{15,2}, Y100_{16,5}), \\ \left. \min (Y100_{1,2}, Y100_{3,3}, Y100_{4,5}, Y100_{5,2}, Y100_{7,6}, Y100_{9,6}, Y100_{10,6}, Y100_{13,6}, Y100_{14,2}, Y100_{15,4}, Y100_{16,5}) \right]$$

Относительно диагнозов остаточного ресурса степени интегрированного износа лифтеров $d_1 - d_6$ система нечетких логических уравнений будет такой:

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

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

$$D30 = \max \left[\min (Y100_{8,2}, nCz10, Cz20), \min (Y100_{8,2}, vCz10, nCz20), \min (Y100_{8,2}, Cz10, Cz20) \right]; \quad (7)$$

$$D40 = \max \left[\min(Y100_{8,2}, Cz10, vCz20), \min(Y100_{8,2}, vCz10, vCz20), \min(Y100_{8,2}, vCz10, Cz20) \right];$$

$$D50 = \max \left[\min(Y100_{8,2}, Vz10, Vz20), \min(Y100_{8,2}, Vz10, vCz20), \min(Y100_{8,2}, Vz10, vCz10) \right].$$

$$D60 = \max \left[\min(Y100_{8,2}, Vz10, Vz20), \min(Y100_{8,2}, Vz10, vCz20), \min(Y100_{8,2}, Vz10, vCz10) \right].$$

В результате по наибольшим значениям стандартных функций принадлежности $D10, D20, D30, D40, D50, D60$ соответственно режимным технологическим и техническим параметрам ресурсного состояния степени интегрированного износа лифтеров устанавливается их оперативный диагноз остаточного ресурса заданных диапазонов. Для данного случая $D10 = 0,842$; $D20 = 0,051$; $D30 = 0,051$; $D40 = 0,051$; $D50 = 0,051$; $D60 = 0,051$. Здесь четко идентифицируется ($j = 5$ %) заполнение барабана измельчаемой рудой при низком значении износа высоты лифтеров. Аналогичная точность достигнута и по другим заполнениям. Размытость решения появилась только при значении $j = 33$ % по заполнению.

Список литературы

1. Мещеряков Л.И. Идентифікація параметрів об'єктів автоматизованого управління в задачах АСУТП ексцесійними моделями // Зб. наук. пр. Нац. гірн. ун-ту. – 2006. – № 24. – С. 182–186.
2. Мещеряков Л.И. Базова форма дисперсійної моделі гірничих технологічних комплексів // Сб. науч. тр. НГА. – 2004. – № 20. – С. 209–214.
3. Марюта А.Н. Автоматическая оптимизация процесса обогащения руд на магнито-обогащительных фабриках. – М.: Недра, 1975. – 218 с.
4. Мещеряков Л.И. Системная оценка идентификации барабанных мельниц // Сб. науч. тр. НГАУ. – 1998. – Т. 6. – № 3. – С. 255–259.