

УДК 621.865.:004.94

**Т.Н. Круглова**, канд. техн. наук  
Южно-Российский государственный технический  
университет (Новочеркасский политехнический институт)

## **НЕЧЕТКИЙ ЭКСПЕРТНЫЙ МЕТОД ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОЧИСТНОГО КОМБАЙНА**

*Предложен метод диагностирования технического состояния очистного комбайна, который позволяет по относительному значению определяющего параметра, коэффициенту соответствия, заданному экспертами, и весу неисправностей, с помощью аппарата нечеткой логики, определить текущее состояние объекта и осуществить поиск возникших неисправностей.*

**очистной комбайн, техническое состояние, нечеткий экспертный метод диагностирования**

### ***Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.***

При подземной разработке пластовых месторождений на долю комбайновой выемки приходится значительный объем всей добычи угля. В связи с этим в развитых угледобывающих странах, при проектировании и изготовлении очистных комбайнов значительное внимание уделяется их надежности. В настоящее время многие производители пытаются решить этот вопрос за счет увеличения ресурса комбайна посредством предупреждения отказов, связанных с поломкой деталей, что сопровождается ростом его стоимости и количества необходимых запасных частей. При этом отношение стоимости запасных частей за срок службы комбайна к его первоначальной стоимости остается постоянным. С увеличением ресурса комбайнов будет возрастать доля постепенных отказов, вызываемых изнашиванием [1]. Поэтому повышение срока службы должно сопровождаться существенным снижением расхода запасных частей и, как следствие, удельных затрат на ремонт. Эту проблему можно решить применением методов и средств диагностирования технического состояния, позволяющих автоматически отслеживать изменение в состоянии основных узлов объекта.

В процессе функционирования, на узлы очистного комбайна оказывают влияние большие динамические знакопеременные нагрузки, приводящие к изменению его состояния, но учесть их в полном объеме при применении стандартных методов моделирования невоз-

можно [2]. Одним из вариантов решения данной проблемы является применение нечетких и экспертных систем.

**Постановка задачи.** Для определения текущего технического состояния комбайна задаются конкретные неисправности  $x_i$ ,  $i \in [1, n]$  и определяющие параметры  $y_j$ ,  $j \in [1, m]$ , между которыми существуют нечеткие причинные отношения  $r_{ij} = x_i \rightarrow y_j$ , представленные в виде матрицы соответствия  $R$  с элементами  $r_{ij} \in [0, 1]$ . Конкретные неисправности и определяющие параметры можно рассматривать как нечеткие множества  $A = \{x_1, x_2 \dots x_n\}$  и  $B = \{y_1, y_2, \dots y_m\}$  на пространствах  $X$ ,  $Y$ . Взаимодействие введенных множеств выражается через нечеткую композицию:

$$B = A \circ R = \{y, \mu_{A \circ R}(y)\},$$

где  $\mu_{A \circ R}(y)$  - функция принадлежности, вычисляемая по формуле:

$$\mu_{A \circ R}(y) = \sup_{x \in X} T\{\mu_A(x), \mu_R(x, y)\}, \quad \forall y \in Y.$$

Так как  $T$  является  $t$ -нормой, т. е. операцией минимума, то

$$\mu_{A \circ R}(y) = \min(\mu_A(x), \mu_R(x, y)).$$

Задача диагностирования состоит в том, чтобы по известному определяющему параметру и коэффициенту соответствия  $r_{ij}$  найти неисправность  $x_i$ . Решить эту задачу можно с помощью импликатора Клина – Дайнеса:

$$A = B \rightarrow R = \max(1 - B, R) = \min(B, R).$$

**Изложение материала и результаты.** Для определения текущего состояния объекта необходимо провести распознавание объекта, т. е. отнести его состояние к одному из диагнозов. Для удобства диагностирования, текущее значение определяющего параметра переводятся в относительные единицы по формуле:

$$y'_i = \left| \frac{y_i - y_{\max_i}}{y_{\text{ном}_i} - y_{\max_i}} \right|,$$

где  $y_j$ ,  $y_{\max_j}$ ,  $y_{\text{ном}_j}$  - текущее, максимальное и номинальное значения определяющего параметра.

Чем ближе относительное значение определяющего параметра к единице тем меньше степень развития дефекта, а, следовательно, и

вес неисправности. Близость относительного параметра диагностирования к нулю свидетельствует об отказе объекта, и вес этой неисправности должен быть максимальным. Следовательно, вес диагностического параметра определяется по формуле:

$$w_j = 1 - y'_j,$$

где  $y'_j$  - относительное значение определяющего параметра.

Если неисправность выявляется изменением нескольких определяющих параметров, то необходимо определить эквивалентный вес неисправности:

$$w_i = w_1 + w_2 + \dots + w_m - (w_1 \cdot w_2) - \dots - (w_1 \cdot w_m) + (w_2 \cdot w_3) + \dots + (w_2 \cdot w_m) - (w_3 \cdot w_4) - \dots - (w_3 \cdot w_m) + \dots + (w_1 \cdot w_2 \cdot \dots \cdot w_m).$$

При наличии нескольких неисправностей определяется эквивалентный вес каждой неисправности, а затем находится эквивалентный вес всех неисправностей

$$w_{\text{экв}} = w_1 + w_2 + \dots + w_n - (w_1 \cdot w_2) - \dots - (w_1 \cdot w_n) + (w_2 \cdot w_3) + \dots + (w_2 \cdot w_n) - (w_3 \cdot w_4) - \dots - (w_3 \cdot w_n) + \dots + (w_1 \cdot w_2 \cdot \dots \cdot w_n),$$

и эквивалентный признак всех неисправностей

$$x_{\text{экв}} = x_1 + x_2 + \dots + x_n - (x_1 \cdot x_2) - \dots - (x_1 \cdot x_n) + (x_2 \cdot x_3) + \dots + (x_2 \cdot x_n) - (x_3 \cdot x_4) - \dots - (x_3 \cdot x_n) + \dots + (x_1 \cdot x_2 \cdot \dots \cdot x_n).$$

По полученным значениям эквивалентного признака и веса определяется значение разделяющей функции:

$$F(A) = A \cdot W = \min(\mu_A(x_i), \mu_W(w_i)).$$

Так как  $\mu_A(x_i) = \min(\mu_B(y_j), \mu_R(r_{ij}))$ , то

$$F(A) = \min(\mu_B(y_j), \mu_R(r_{ij}), \mu_W(w_i)).$$

Для идентификации модели технического диагностирования используется нечеткая логическая система, основанная на знаниях экспертов. Входными параметрами нечеткой подмодели поиска неисправностей являются множество параметров диагностирования  $B = \{y_j\}$ ,  $j \in [1, m]$  и матрица соответствия  $R \{r_{ij}\}$ ,  $r_{ij} \in [0, 1]$ , а выходным - множество неисправностей  $A = \{x_i\}$ ,  $i \in [1, m]$ .

Для задания логико-лингвистических переменных входных множеств выбирается Гауссова функция принадлежности, достигающая своего максимального значения в характерной точке (рис.1 а - в).

Для описания взаимосвязей между введенными множествами составляется система нечетких правил, имеющая вид:

если ( $B$  есть  $y_j$ ) и ( $R$  есть  $r_{ij}$ ) то ( $A$  есть  $x_i$ ),

где  $i \in [1, n]$  – строка матрицы соответствия (неисправность);

$j \in [1, m]$  – столбец матрицы соответствия (определяющий параметр).

Идентификация параметров нечеткой подмодели поиска неисправности осуществляется с помощью системы обратного логического вывода *Mamdani* [3]. Результатом компьютерного моделирования является поверхность отклика, представленная на рис. 1 г.

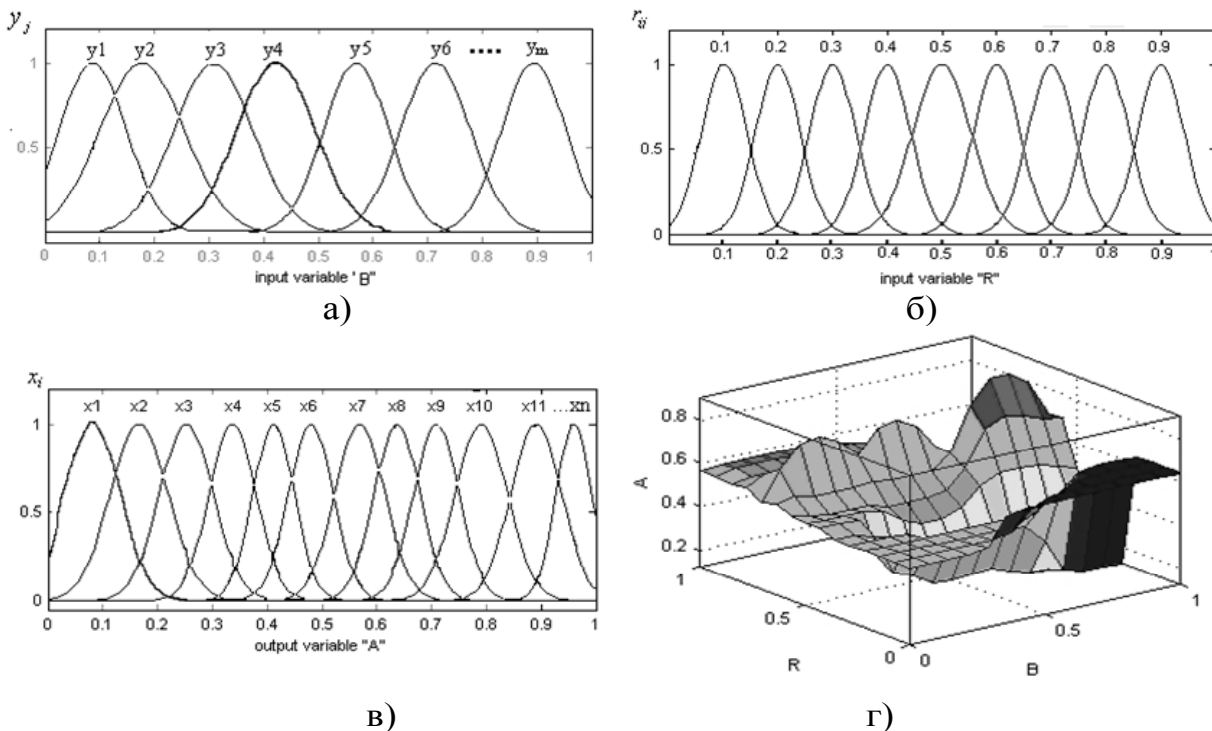


Рисунок 1. Графики функций принадлежности входов (а, б), выхода (в) и поверхность отклика нечеткой подмодели поиска неисправностей

Для идентификации подмодели оценки работоспособности создается нечеткая логическая система, на входах которой задаются множества неисправностей  $A$  и веса неисправностей  $W$ . На множестве  $A$  в интервале  $[0; 1]$  задаются все возможные неисправности  $x_i$  (рис. 2 а). На множестве  $W$  в интервале  $[0; 1]$  задается два основных вида диагноза «Работоспособен ( $d_1$ )», «Неработоспособен ( $d_2$ )» (рис. 2 б). На выходе в интервале  $[-1; 1]$  – значение разделяющей функции  $F(A)$ . Взаимосвязь между введенными множествами описывается следующими нечеткими правилами:

если ( $A$  есть  $x_i$ ) и ( $W$  есть  $d_1$ ) то ( $F$  есть  $f_1$ );

если ( $A$  есть  $x_i$ ) и ( $W$  есть  $d_2$ ) то ( $F$  есть  $f_2$ ),

где  $f_1$  – заключение «объект допускается к эксплуатации»;  $f_2$  – заключение «объект не допускается к эксплуатации».

Значение разделяющей функции определяется путем логического вывода *Sugeno* [3]. Результатом компьютерного моделирования работоспособности очистного комбайна является поверхность отклика, представленная на рис. 2 в.

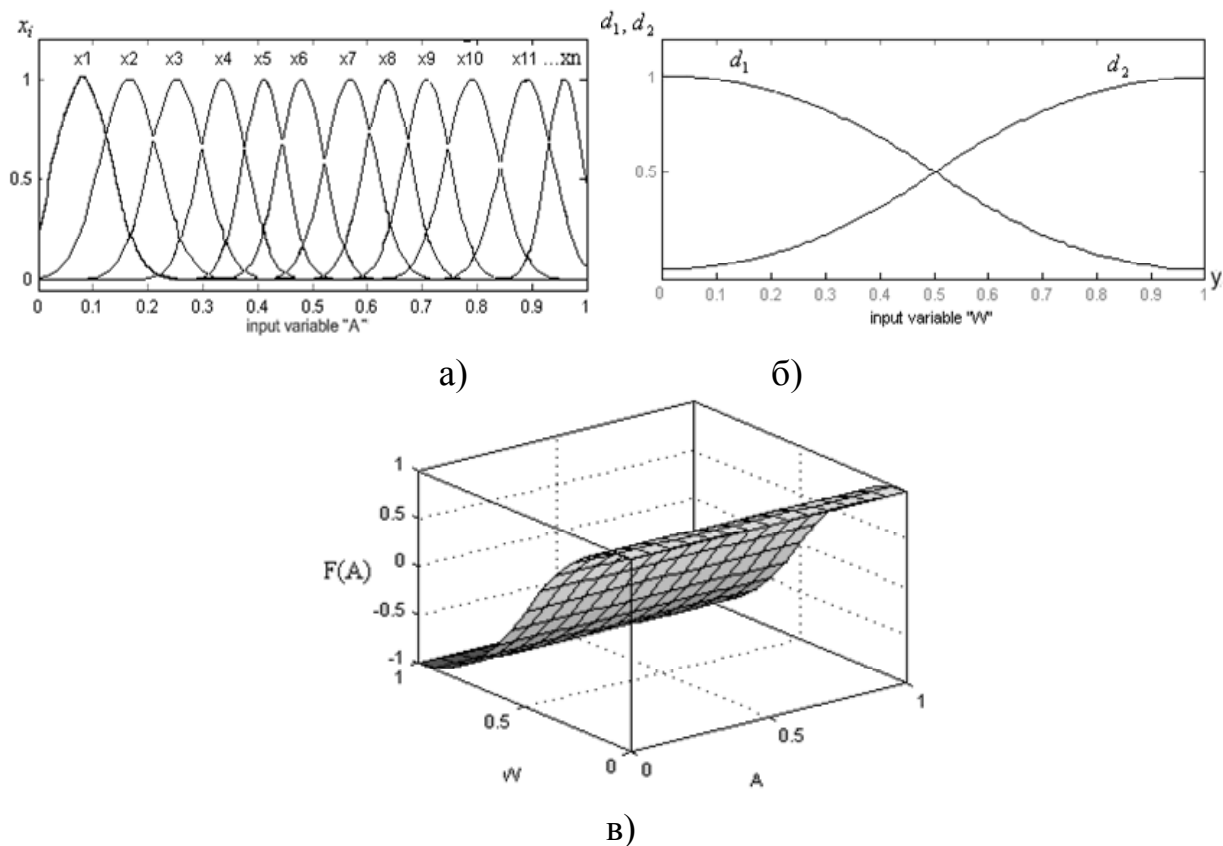


Рисунок 2. Графики функций принадлежности входов (а, б) и поверхность отклика (в) нечеткой подмодели оценки работоспособности

Разработанный нечеткий экспертный метод диагностирования (рис 3) позволяет определить текущее значение разделяющей функции  $F(A)$ , характеризующей техническое состояние объекта. Если  $F(A)=1$ , то объект исправен, дефекты отсутствуют. Если  $0 < F(A) < 1$ , то объект является работоспособным, но чем ближе значение  $F(A)$  к нулю, тем больше степень развития дефекта и ближе отказ объекта. Если  $F(A) \leq 0$ , то объект неработоспособен.

С объекта диагностирования (ОД), с помощью системы датчиком (СД), снимаются текущие значения определяющих параметров. Выбирается параметр  $U_j$  для которого задается максимальный коэффициент соответствия. Полученные данные передаются в блок нечеткой логики (БНЛ<sub>1</sub>) поиска неисправности, где вычисляется при-

знак неисправности по выбранному параметру и записывается в базу данных. Далее выбирается следующий параметр, характеризующий данную неисправность и, с помощью БНЛ<sub>1</sub>, определяется признак неисправности по выбранному параметру. Аналогичная процедура проводится для остальных параметров, определяющих данную неисправность. Для каждого параметра выбранной неисправности с помощью блока вычислений (БВ<sub>1</sub>) определяется относительное значение параметра и его вес. Все эти данные передаются в блок вычислений (БВ<sub>2</sub>), где рассчитывается эквивалентный вес неисправности  $W_i$ . Аналогичная процедура проводится для всех определяющих параметров каждой неисправности объекта и рассчитываются эквивалентные веса всех неисправностей  $W_{экр}$  и их эквивалентный признак  $x_{экр}$ . Эти данные подаются на вход блока нечеткой логики (БНЛ<sub>2</sub>) оценки работоспособности, вычисляющего разделяющую функцию  $F(A)$ , значение которой подается на вход блока сравнения (БС). Если  $F(A) > 0$  то на индикаторный блок (ИБ) выводится сообщение о работоспособности объекта. В противном случае на ИБ выводится сообщение о неисправности ОД и подается управляющее воздействие на его отключение.

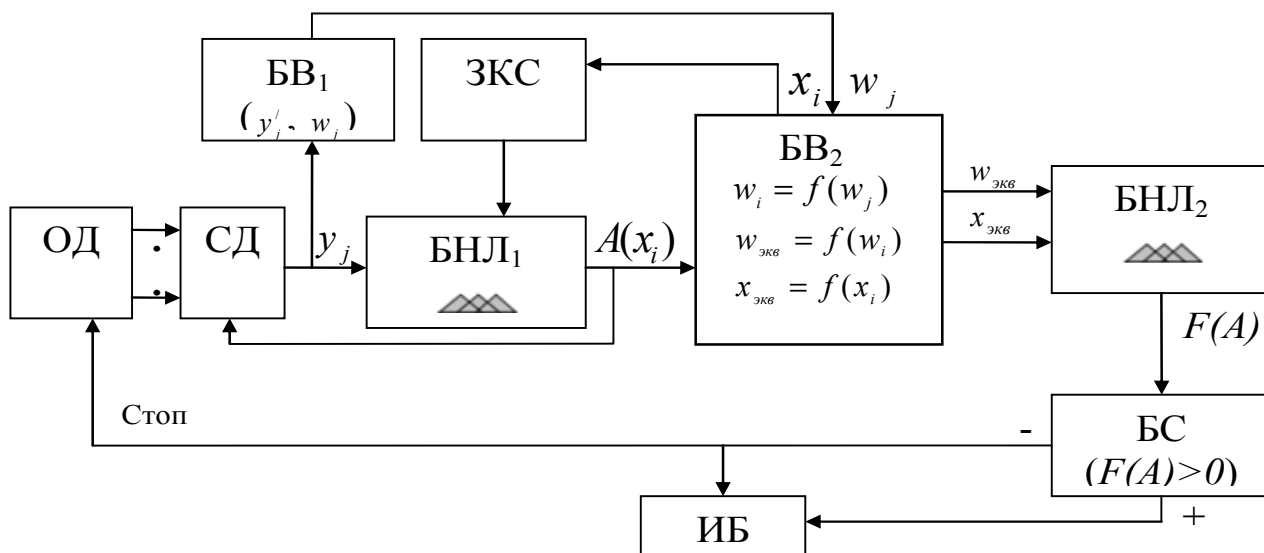


Рисунок 3. Структура реализации нечеткого экспертного метода диагностирования

Для оценки качества предложенного метода диагностирования, исследованы теоретическая и практическая модели диагностирования электродвигателя и редуктора режущей части очистного комбайна. Сравнение результатов моделирования показало, что среднее абсо-

лютное отклонение практических от теоретических моделей не превышает 5%, что свидетельствует об их адекватности и высокой точности.

Для практической реализации нечеткого экспертного метода разработано и запатентовано устройство, осуществляющее сбор и необходимую обработку диагностической информации. Устройство снабжено блоком прогнозирования, позволяющим определить вероятность безотказной работы объекта диагностирования на следующий интервал времени [4].

В результате анализа установлено, что внедрение предложенных метода и средств диагностирования позволяет повысить производительность очистного комбайна на 17-18%, коэффициент технического использования на 14% и получить экономический эффект, в случае, если затраты на модернизацию не превышают 20% стоимости объекта.

Список источников:

1. Вэньчже Ян. Оценка ресурса деталей очистных комбайнов // Уголь №7, 2002, С. 14-15.
2. Проектирование и конструирование горных машин и комплексов./ Г.В. Малеев, В. Г. Гуляев, Н.Г. Бойко и др. – М., Недра, 1988.–368 с.
3. Круглов В. В., Борисов В. В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. – 2-е изд., стереотип. – М.: Телеком, 2002.
4. Патент №2289802 RU, МПК G01M №13. Устройство виброакустической диагностики циклически функционирующих объектов/ Круглова Т. Н., Глебов Н. А. -Заявл. 10.08.2005, опубл. 20.12.2006// Открытия. Изобретения.-2006 - №35 - С. 337.

***Т.М. Круглова. Нечіткий експертний метод діагностування технічного стану очисного комбайна. Запропоновано метод діагностування технічного стану очисного комбайна, який дозволяє по відносним значенням визначених параметрів, коефіцієнту відповідності, заданому експертами, і вазі неісправностей, за допомогою апарату нечіткої логіки, визначити поточний стан об'єкта і здійснити пошук виниклих неісправностей.***

**очисний комбайн, технічний стан, нечіткий експертний метод діагностування**

***T.N. Kruglova. Fuzzy-expert method of diagnosing of a technical condition of a cutter-loader. The method of diagnosing of a technical condition of a cutter-loader which allows on relative value of the defining parameters, is offered the factor of conformity set by experts, and weight of malfunctions, by means of the device of fuzzy-logic to define a current condition of object and to carry out search of the arisen malfunctions.***

**cutter-loader, technical condition, fuzzy-expert method of diagnosing**

*Стаття надійшла до редколегії 25.06.2010*

*Рецензент: д-р техн. наук, проф. Н.И.Сысоев*

© Т.Н.Круглова, 2010