

УДК 658.011.56

## ПОСТРОЕНИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СЛОЖНОГО ОБЪЕКТА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ МИНИМИЗАЦИИ МНОЖЕСТВА ВЕРОЯТНО-ЛИНГВИСТИЧЕСКИХ СИНДРОМОВ

С.Г. ДАНИЛЮК, А.Б. КАТАРАНОВ, В.В. ТУРЛАЕВ

На основе вероятностно-лингвистического подхода к представлению и преобразованию нечеткой информации показан порядок решения задачи типизации сформированного экспертами множества вероятностно-лингвистических синдромов, характеризующих все возможные технические состояния сложного объекта диагностирования.

**Ключевые слова:** техническое диагностирование, вероятностно-лингвистический синдром, лингвистическая переменная, степень нечеткого равенства, диагностический признак.

Задача поиска неисправностей в техническом устройстве является задачей отображения некой реальной ситуации на формализованный язык принятия решений.

Если информация о реакции объекта диагностирования  $R = \{R_{ql}, q = \overline{1, |\Pi|}, l = \overline{0, |S|}\}$  в техническом состоянии  $e_l$ , ( $e_l \in E, l = \overline{0, |E|}$ ) на проверку  $\pi_q$  из множества  $\Pi$  представляется экспертными оценками, то модель объекта диагностирования приобретает нечеткий характер. В [1] предложена вероятностно-лингвистическая математическая модель (ВЛММ), ключевым понятием которой является понятие вероятностно-лингвистического синдрома (ВЛС). ВЛС представляет собой [2] сочетание детерминированно-стохастических признаков проявления неисправности, формализованных нечетким множеством второго уровня

$$\tilde{v}/(\pi_q, e_l) = \left\{ \left\langle p_{11}^{ql}/T_{11}^{ql} \right\rangle, \dots, \left\langle p_{1j_1}^{ql}/T_{1j_1}^{ql} \right\rangle / y_1, \dots, \left\langle p_{l1}^{ql}/T_{l1}^{ql} \right\rangle, \dots, \left\langle p_{lj_l}^{ql}/T_{lj_l}^{ql} \right\rangle / y_l \right\},$$

где  $\pi_q \in \Pi, q = \overline{1, Q}$  - допустимая проверка из множества реализуемых проверок;  $e_l \in E, l = \overline{0, L}$  - неисправность объекта;  $y_i \in Y, i = \overline{1, I}$  -  $i$ -я лингвистическая переменная «ПАРАМЕТР»;  $T_{ij}^{ql} \in T_i, i = \overline{1, I}; j = \overline{1, J}; q = \overline{1, Q}; l = \overline{0, L}$  -  $j$ -е значение  $i$ -й лингвистической переменной «ПАРАМЕТР», зафиксированное при реализации  $q$ -й проверки в  $l$ -м неисправном состоянии объекта;  $p_{ij}^{ql} \in P, i = \overline{1, I}; j = \overline{1, J}; q = \overline{1, Q}; l = \overline{0, L}$  - оценка возможности события  $y_i = T_{ij}^{ql}$ .

Обоснованием введения понятия ВЛС [1] является то, что отказы могут приводить к тому, что значения лингвистической переменной  $y_i \in Y$  при наличии в объекте неисправности  $e_l \in E$  и элементарной проверке  $\pi_q \in \Pi$  будут различны, а вероятностная оценка  $p_{ij}^{ql} \in P$  проявления того или иного значения  $T_{ij}^{ql} \in T_i$  соответствует возможности наблюдения отказа элемента из  $l$ -го неисправного блока, с точностью до которого осуществляется диагностирование объекта. Для удобства ВЛС  $\tilde{v}/(\pi_q, e_l)$  будем обозначать  $\tilde{v}_{ql}$ .

Предположим, что построено множество  $V$  всех возможных ВЛС  $\tilde{v}_{ql}$ , т.е.  $V = \{\tilde{v}_{ql} | q = \overline{1, Q}; l = \overline{0, L}\}$ . Тогда с учетом введенных обозначений ВЛММ представляется следующим упорядоченным множеством [1]  $M = \{E, \Pi, T, O, P\}$ , в котором  $O$  - оператор связи между элементами  $e_l$  ( $l = \overline{1, L}$ ) множества ТС объекта диагностирования, сочетаниями проверок (факторов)  $\pi_q$  ( $q = \overline{1, Q}$ ), с одной стороны, и значениями признаков, которыми с учетом возможности использования экспертной информации могут быть значения лингвистических пере-

менных  $T_{ij}^{ql}$  ( $i$  - порядковый номер диагностического признака  $i = \overline{1, I}$ ,  $j = \overline{1, J_i}$ ) - с другой, с учетом оценок вероятностей  $p_{ij}^{ql}$   $O: E \times \Pi \leftrightarrow T \times P$ .

Задача сокращения первоначального объема диагностической информации в рамках модели формулируется как задача минимизации множества  $\Pi$  до множества  $\Pi^*$ , удовлетворяющего условиям:  $\Pi^* = \{ \pi_q | \pi_q \in \Pi, \forall e_l, e_f \in E (l \neq f), \tilde{v}_{ql} \approx \tilde{v}_{qf} \}$ ;  $|\Pi_m| = \min_{\{ \Theta: \Pi_m \subseteq \Pi \}} \{ |\Pi_m| \}$ ;  
 $G(\Pi^*) = \max_{\{ \Omega: \Pi_m \subseteq \Pi_m \}} \{ G(\Pi_m) \}$ .

Так как математическая модель представляет собой множество ВЛС  $V$ , описывающее диагностируемый объект во всех рассматриваемых технических состояниях, то задача классификации [1] состоит в определении принадлежности каждого из состояний одному из классов. Эта задача состоит в разбиении исходного множества ВЛС  $V$  на ряд непересекающихся классов и, по существу, представляет собой задачу построения на множестве  $V$  нечетких разбиений  $\mathfrak{R}_q \in \mathfrak{R}$ ,  $q = \overline{1, Q}$ . Пространство субъективных возможностей не является метрическим или вероятностным [1], поэтому меру близости классов будем оценивать степенью нечеткого равенства, а в качестве решающего правила использовать нестрогое неравенство  $\mu(\tilde{A}, \tilde{B}) \geq p_{inc}$ , при выполнении которого нечеткие множества будем считать нечетко равными.

Процедура классификации исходного множества ВЛС основана на вычислении для каждой их пары  $\tilde{v}_{ql}$  и  $\tilde{v}_{qf}$  степени нечеткого равенства  $\mu(\tilde{v}_{ql}, \tilde{v}_{qf})$  и сравнении ее с заданным уровнем достоверности  $p_{inc}$ . Если степень нечеткого равенства  $\mu(\tilde{v}_{ql}, \tilde{v}_{qf})$ , которую определим в соответствии с выражениями:  $\mu(\tilde{v}_{ql}, \tilde{v}_{qf}) = \bigwedge_{y_i \in Y} \mu(\mu_{v_{ql}}(y_i), \mu_{v_{qf}}(y_i))$ ;

$$\mu(\mu_{v_{ql}}(y_i), \mu_{v_{qf}}(y_i)) = \bigwedge_{T_{ij}^{ql} \in T_i} C(\mu_{\mu_{v_{ql}}}(T_{ij}^{ql}), \mu_{\mu_{v_{qf}}}(T_{ij}^{ql})); C(\mu_{\mu_{v_{ql}}}(T_{ij}^{ql}), \mu_{\mu_{v_{qf}}}(T_{ij}^{ql})) = \mu_{\mu_{v_{ql}}}(T_{ij}^{ql}) \Leftrightarrow \mu_{\mu_{v_{qf}}}(T_{ij}^{ql}),$$

будет удовлетворять нестрогую неравенству  $\mu(\tilde{v}_{ql}, \tilde{v}_{qf}) \geq p_{inc}$ , то будем считать ВЛС  $\tilde{v}_{ql}$  и  $\tilde{v}_{qf}$  нечетко равными ( $\tilde{v}_{ql} \approx \tilde{v}_{qf}$ ) со степенью достоверности не меньше  $p_{inc}$ .

Получены в результате классификации:

1) матрица  $\Lambda = \|\lambda_{ql}\|$ ,  $q = \overline{1, Q}$ ,  $l = \overline{1, L}$  порядковых номеров  $\lambda_{ql}$  классов нечеткой эквивалентности  $\tilde{V}_{q\lambda}$ ;

2) матрица нечеткой эквивалентности размерности  $Q \times N$  ( $N = \frac{L(L-1)}{2}$ ), на пересечении  $q$ -й строки и  $n$ -го столбца которой записано значение нечеткой эквивалентности  $\mu_{qn} = \mu(\tilde{v}_{ql}, \tilde{v}_{qf})$  ВЛС  $\tilde{v}_{ql}, \tilde{v}_{qf} \in V_q$ :  $M = \|\mu_{qn}\|$ ,  $q = \overline{1, Q}$ ;  $n = \overline{1, N}$ ;

3) множество  $\mathfrak{R} = \{ \mathfrak{R}_q | q = \overline{1, Q} \}$  канонических фактор-множеств  $\mathfrak{R}_q = \{ \tilde{v}_{q\lambda} | \lambda = \overline{1, \Lambda_q} \}$ , содержащих классы  $\tilde{V}_{q\lambda}$  нечетко эквивалентных ВЛС.

Преобразуем матрицу нечеткой эквивалентности  $M = \|\mu_{qn}\|$ ,  $q = \overline{1, Q}$ ;  $n = \overline{1, N}$  согласно правилу  $a_{qn} = \begin{cases} 0, & \text{при } \mu_{qn} \geq p_{inc} \\ 1, & \text{при } \mu_{qn} < p_{inc} \end{cases}$  в матрицу различимости. Очевидно, что полученная таким путем

матрица  $A = \|a_{qn}\|$ ,  $q = \overline{1, Q}$ ;  $n = \overline{1, N}$  является булевой. Определение ее тупиковых (строковых) покрытий  $\Pi_T$  возможно на основе алгоритма Яблонского С.В., согласно которому на основании матрицы различимости  $A = \|a_{qn}\|$ ,  $q = \overline{1, Q}$ ,  $n = \overline{1, N}$  составляется выражение  $\Pi\Sigma = \bigwedge_{n=1}^N \left( \bigvee_{\pi_q \in \Pi_n} \pi_q \right)$ , где  $\Pi_n = \{ \pi_q | \pi_q \in \Pi, a_{qn} = 1 \}$  - множество строк матрицы  $A$ , содержащих на пересечении с  $n$ -м столбцом единицы.

Полученная конъюнкция дизъюнкций преобразуется в равносильную ей форму - дизъюнкцию конъюнкций  $\Sigma\Pi = \bigvee_{\Pi_T \in \Theta} \left( \bigwedge_{\pi_q \in \Pi_T} \pi_q \right)$ , где  $\Theta = \{ \Pi_T \}$  - множество тупиковых покрытий матрицы  $A$ .

Упрощение выражения позволяет определить все тупиковые покрытия и выбрать из них кратчайшее  $\Pi_M$ . Их может быть несколько. Для принятия окончательного решения о наиболее эффективном покрытии (в смысле минимальности длины и достоверности распознавания) определим суммарный весовой коэффициент  $G(\Pi_M) = \sum_{q \in Q_M} \sum_{n=1}^N 1 - \mu_{qn}$ , где  $Q_M$  - множество ин-

дексов проверок  $\pi_q \in \Pi_M$ . Коэффициенты  $\mu_{qn}$  берутся из матрицы нечеткой эквивалентности. Таким образом, величина  $1 - \mu_{qn}$  имеет смысл степени, с которой проверка  $\pi_q$  различает неисправности  $e_l$  и  $e_f$  по ВЛС  $\tilde{v}_{ql}$  и  $\tilde{v}_{qf}$ , индексы  $n$ ,  $l$  и  $f$  которых связаны соотношением  $n = \frac{1}{2} [2L - (l + 1)] + (f - 1)$ .

## ЛИТЕРАТУРА

1. Данилюк С.Г. Вероятностно-лингвистический метод диагностирования. – Серпухов, 1998.

### CONSTRUCTING A DIAGNOSTIC MODEL OF A COMPLEX OBJECT BASED MINIMIZATION SET OF PROBABILITY-LINGUISTIC SYNDROMES

Danyluk S.G., Kataranov A.B., Turlaev V.V.

The probabilistic-linguistic approach to the representation and transformation of the fuzzy information allows to show how to solve the problem of building types of numerous probabilistic-linguistic syndromes characterizing all possible technical conditions of complex object for diagnostics.

**Keywords:** technical diagnostics, probability-linguistic syndrome, linguistic variable, fuzzy degree of equality, a diagnostic sign.

### Сведения об авторах

**Данилюк Сергей Григорьевич**, 1967 г.р., окончил СВВКИУ РВ (1989), профессор, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник МОУ «ИИФ», автор более 200 научных работ, область научных интересов - диагностические системы искусственного интеллекта.

**Катаранов Алексей Борисович**, 1962 г.р., окончил СВВКИУ РВ (1984), заместитель директора ГОУ СПО Московского строительного техникума, автор 21 научной работы, область научных интересов - системы поддержки поиска неисправностей на основе теории нечетких множеств.

**Турлаев Вадим Валентинович**, 1970 г.р., окончил СВВКИУ РВ (1992), главный специалист ФГУП ВНИИА, автор 11 научных работ, область научных интересов - автоматизированные системы контроля и диагностики, системы поддержки поиска неисправностей.