УДК 330.43

НЕЧЕТКАЯ МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕТАЭКОНОМИЧЕСКОГО УРОВНЯ

К.Д. ИМАНОВ, Р.Р. РЗАЕВ

Рассматривается альтернативный подход к оценке глобального уровня развития государства, основанный на нечетких логических выводах. Предложена нечеткая модель метауровня социально-экономической системы (уровня развития социально-экономической системы в масштабах глобальной экономики). На базе разработанной модели и результатов исследований за 2002-й год в рамках Программы развития ООН получена оценка глобального уровня развития Азербайджана.

ВВЕДЕНИЕ

Метауровень социально-экономической системы (СЭС) охватывает глобальные проблемы экономики. В условиях динамически изменяющегося мира функционирование СЭС каждого интегрированного в мировое экономическое сообщество государства непосредственно зависит от мировых рыночных цен, всевозможных текущих индексов финансовых рынков, темпов развития мировой экономики, политики ведущих международных финансово-экономических организаций, а также ведущих государств. При этом учитывается отношение между метауровнем и остальными уровнями внутри СЭС. Поэтому при разработке модели для метауровня СЭС необходимо проводить исследования в двух важных направлениях: изучение влияния глобальных факторов на функционирование СЭС и установление места СЭС государства в глобальном развитии. Другими словами, необходимо разработать две метамодели, первая из которых описывала бы факторы, влияющие на уровень развития СЭС государства, а вторая — место государства в глобальном развитии. В данной работе рассматривается вторая модель метауровня СЭС государства.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Международные экономические и финансовые институты в своих оценках глобальных уровней развития СЭС пользуются, как правило, традиционными методами учета основных макроэкономических показателей и градационными шкалами. Опираясь на технологию нечетких логических выводов, необходимо оценить глобальный уровень развития СЭС на основе нечеткой модели ее метауровня.

Эндогенной величиной модели является качественный показатель — «глобальный уровень развития» (GD) СЭС, а экзогенными величинами — лингвистические переменные: «индекс человеческого развития» (HDI) и «индекс технологических достижений» (TAI), принимающие свои значения в определяемой градационными шкалами совокупности нечетких терм-множеств. На их основе и выбранных доминирующих суждений необходимо построить продукционные лингвистические правила для оценки GD.

НЕЧЕТКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОЦЕНКИ МЕТАУРОВНЯ СЭС

В качестве экзогенных величин модели выберем *HDI*, оцениваемый по шкале: *низкий* $(0\ldots0{,}499)$; *средний* $(0{,}5\ldots0{,}799)$; *выше среднего* $(0,\ldots0{,}949)$; *высокий* $(0{,}95\ldots1)$ и *TAI*, оцениваемый по шкале: *маргинальная группа* $(0\ldots0{,}2)$; *интенсивно использующие технологии* $(0{,}21\ldots0{,}34)$; *возможно, ведущие страны* $(0{,}35\ldots0{,}49)$; *ведущие страны* $(0{,}5$ и больше). Для более полного учета этих показателей в предлагаемой модели представим их с помощью лингвистических переменных и воспользуемся технологией нечеткого логического вывода для оценки *GD*. В результате получим нечеткую (*fuzzy*) модель, которая, как известно, строится по такой схеме: 1) фаззификация данных, 2) построение правил, 3) композиция, 4) выводы, 5) дефаззификация [2].

Предположим, что для оценки глобального уровня развития СЭС доминирующими являются следующие суждения:

e_1: «Если индекс человеческого развития низкий и государство входит в состав маргинальной группы, то оно входит в разряд бедных».

e_2: «Если индекс человеческого развития низкий и государство интенсивно использует технологии, то оно все же входит в разряд бедных».

e_3: «Если индекс человеческого развития средний и государство интенсивно использует технологии, то оно входит в разряд ниже среднего».

e_4: «Если индекс человеческого развития выше среднего и государство интенсивно использует технологии, то оно все же входит в разряд ниже среднего».

e_5: «Если индекс человеческого развития выше среднего и государство, возможно, является ведущим в области применения технологий, то оно входит в разряд выше среднего».

e_6: «Если индекс человеческого развития высокий и государство является ведущим в области применения технологий, то оно входит в разряд богатых».

Для простоты введем новые обозначения для лингвистических переменных: X_1 — *HDI*; X_2 — *TAI*; Y — *GD*. Значениями этих переменных являются представленные выше интервалы, которые называются терм-множествами. По существу, для оценки уровня глобального развития мы будем пользоваться этими терм-множествами. Тогда в терминах введенных переменных сформулируем следующие лингвистические правила:

e_1: «Если $X_1 =$ НИЗКИЙ и $X_2 =$ МАРГИНАЛЬНОЕ, то $Y =$ $=$ БЕДНОЕ».

e_2: «Если $X_1 =$ СРЕДНИЙ и $X_2 =$ МАРГИНАЛЬНОЕ, то $Y =$ $=$ БЕДНОЕ».

e_3: «Если $X_1 =$ СРЕДНИЙ и $X_2 =$ ИНТЕНСИВНО ИСПОЛЬЗУЕТ, то $Y =$ НИЖЕ СРЕДНЕГО».

e_4: «Если X_1 = ВЫШЕ СРЕДНЕГО и X_2 = ИНТЕНСИВНО ИСПОЛЬЗУЕТ, то Y = НИЖЕ СРЕДНЕГО».

e_5: «Если X_1 = ВЫШЕ СРЕДНЕГО и X_2 = ВОЗМОЖНО, ВЕДУЩЕЕ, то Y = ВЫШЕ СРЕДНЕГО».

e_6: «Если X_1 = ВЫСОКИЙ и X_2 = ВЕДУЩАЯ СТРАНА, то Y = = БОГАТОЕ».

Как известно, фаззификацию переменных и их интервальных значений (терм-множеств) можно осуществить путем построения соответствующих функций принадлежности в виде гауссовских функций [2]

$$\mu_A(t) = e\left(-\left[\frac{t-a}{\sigma}\right]^2\right), \tag{1}$$

где a — среднее значение, $\sigma > 0$ — плотность распределения. В частности, нечекие терм-множества переменной Y определим с помощью таких функций принадлежности:

L = БЕДНОЕ определено как $\mu_L(u) = e^{-\left[\frac{t-0,038}{0,5}\right]^2}$.

NM = НИЖЕ СРЕДНЕГО определено как $\mu_{NM}(u) = e^{-\left[\frac{t-0,18955}{0,5}\right]^2}$.

M = ВЫШЕ СРЕДНЕГО определено как $\mu_M(u) = e^{-\left[\frac{t-0,61955}{0,5}\right]^2}$.

H = БОГАТОЕ определено как $\mu_H(u) = e^{-\left[\frac{t-1}{0,5}\right]^2}$.

Для лингвистических переменных *HDI* и *TAI* зададим базовое множество $C = \{c_1, c_2, c_3, c_4, c_5\}$, которое выберем в качестве классификатора СЭС. Другими словами, под множеством C будем понимать перечень искомых признаков, по которым в дальнейшем будем осуществлять классификацию социально-экономических систем. Тогда значения указанных переменных можно представить в виде таких нечетких терм-множеств:

По *HDI*:

НИЗКИЙ $A_1 = \frac{1,0}{c_1} + \frac{0,85}{c_2} + \frac{0,60}{c_3} + \frac{0,10}{c_4} + \frac{0}{c_5}$,

СРЕДНИЙ $A_2 = \frac{0,30}{c_1} + \frac{0,40}{c_2} + \frac{0,90}{c_3} + \frac{0,25}{c_4} + \frac{0,1}{c_5}$,

ВЫШЕ СРЕДНЕГО $A_3 = \frac{0,25}{c_1} + \frac{0,30}{c_2} + \frac{0,70}{c_3} + \frac{0,95}{c_4} + \frac{0,65}{c_5}$,

ВЫСОКИЙ $A_4 = \frac{0,10}{c_1} + \frac{0,20}{c_2} + \frac{0,30}{c_3} + \frac{0,60}{c_4} + \frac{1,0}{c_5}$;

по *TAI*:

МАРГИНАЛЬНОЕ $B_1 = \frac{0,90}{c_1} + \frac{0,80}{c_2} + \frac{0,30}{c_3} + \frac{0,10}{c_4} + \frac{0}{c_5}$,

ИНТЕНСИВНО ИСПОЛЬЗУЕТ $B_2 = \frac{0{,}40}{c_1} + \frac{0{,}50}{c_2} + \frac{0{,}50}{c_3} + \frac{0{,}40}{c_4} + \frac{0{,}10}{c_5}$,

ВОЗМОЖНО ВЕДУЩЕЕ $B_3 = \frac{0{,}20}{c_1} + \frac{0{,}30}{c_2} + \frac{0{,}85}{c_3} + \frac{0{,}95}{c_4} + \frac{0{,}70}{c_5}$,

ВЕДУЩЕЕ $B_4 = \frac{0}{c_1} + \frac{0{,}10}{c_2} + \frac{0{,}40}{c_3} + \frac{0{,}50}{c_4} + \frac{0{,}95}{c_5}$.

С учетом введенных обозначений правила $e_1, e_2, ..., e_6$ примут вид

e_1: «Если $X_1 = A_1$ и $X_2 = B_1$, то $Y = L$».

e_2: «Если $X_1 = A_2$ и $X_2 = B_1$, то $Y = L$».

e_3: «Если $X_1 = A_2$ и $X_2 = B_2$, то $Y = NM$».

e_4: «Если $X_1 = A_3$ и $X_2 = B_2$, то $Y = NM$».

e_5: «Если $X_1 = A_3$ и $X_2 = B_3$, то $Y = M$».

e_6: «Если $X_1 = A_4$ и $X_2 = B_4$, то $Y = H$».

Теперь вычислим функции принадлежности μ_{P_i} $(i = \overline{1,6})$ для левых частей приведенных правил [1,2].

$$e_1:\ \mu_{P_1}(C) = \min\left(\mu_{A_1}(C), \mu_{B_1}(C)\right);\ P_1 = \frac{0{,}90}{c_1} + \frac{0{,}80}{c_2} + \frac{0{,}30}{c_3} + \frac{0{,}10}{c_4} + \frac{0}{c_5}.$$

$$e_2:\ \mu_{P_2}(C) = \min\left(\mu_{A_2}(C), \mu_{B_1}(C)\right);\ P_2 = \frac{0{,}30}{c_1} + \frac{0{,}40}{c_2} + \frac{0{,}30}{c_3} + \frac{0{,}10}{c_4} + \frac{0}{c_5}.$$

$$e_3:\ \mu_{P_3}(C) = \min\left(\mu_{A_2}(C), \mu_{B_2}(C)\right);\ P_3 = \frac{0{,}30}{c_1} + \frac{0{,}40}{c_2} + \frac{0{,}50}{c_3} + \frac{0{,}25}{c_4} + \frac{0{,}10}{c_5}.$$

$$e_4:\ \mu_{P_4}(C) = \min\left(\mu_{A_3}(C), \mu_{B_2}(C)\right);\ P_4 = \frac{0{,}25}{c_1} + \frac{0{,}30}{c_2} + \frac{0{,}50}{c_3} + \frac{0{,}40}{c_4} + \frac{0{,}10}{c_5}.$$

$$e_5:\ \mu_{P_5}(C) = \min\left(\mu_{A_3}(C), \mu_{B_3}(C)\right);\ P_5 = \frac{0{,}20}{c_1} + \frac{0{,}30}{c_2} + \frac{0{,}70}{c_3} + \frac{0{,}95}{c_4} + \frac{0{,}65}{c_5}.$$

$$e_6:\ \mu_{P_6}(C) = \min\left(\mu_{A_4}(C), \mu_{B_4}(C)\right);\ P_6 = \frac{0}{c_1} + \frac{0{,}10}{c_2} + \frac{0{,}30}{c_3} + \frac{0{,}50}{c_4} + \frac{0{,}95}{c_5}.$$

Таким образом, в рамках новых данных наши правила можно переписать в виде

e_1: «Если $X = P_1$, то $Y = L$».

e_2: «Если $X = P_2$, то $Y = L$».

e_3: «Если $X = P_3$, то $Y = NM$».

e_4: «Если $X = P_4$, то $Y = NM$».

e_5: «Если $X = P_5$, то $Y = M$».

e_6: «Если $X = P_6$, то $Y = H$».

Для преобразования этих правил воспользуемся импликацией Лукасевича $\mu_R(C,i)=\min\left(1{,}1-\mu_P(C)+\mu_Y(i)\right)$ [2, 3]. Тогда для каждой пары $(C,i)\in C\times I$ получим следующие нечеткие отношения на декартовом произведении $C\times I$:

$$R_1 = \begin{array}{cc} & \begin{array}{ccccccccccc} \mathbf{0} & \mathbf{0{,}1} & \mathbf{0{,}2} & \mathbf{0{,}3} & \mathbf{0{,}4} & \mathbf{0{,}5} & \mathbf{0{,}6} & \mathbf{0{,}7} & \mathbf{0{,}8} & \mathbf{0{,}9} & \mathbf{1{,}0} \end{array} \\ \begin{array}{c} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ c_4 \\ c_5 \end{array} & \left\| \begin{array}{ccccccccccc} 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 0{,}86 & 0{,}69 & 0{,}53 & 0{,}38 & 0{,}27 & 0{,}20 & 0{,}15 & 0{,}12 \\ 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 0{,}96 & 0{,}79 & 0{,}63 & 0{,}48 & 0{,}37 & 0{,}30 & 0{,}25 & 0{,}22 \\ 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 0{,}98 & 0{,}87 & 0{,}80 & 0{,}75 & 0{,}72 \\ 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 0{,}95 & 0{,}92 \\ 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 \end{array} \right\| \end{array}$$

$$R_2 = \begin{array}{cc} & \begin{array}{ccccccccccc} \mathbf{0} & \mathbf{0{,}1} & \mathbf{0{,}2} & \mathbf{0{,}3} & \mathbf{0{,}4} & \mathbf{0{,}5} & \mathbf{0{,}6} & \mathbf{0{,}7} & \mathbf{0{,}8} & \mathbf{0{,}9} & \mathbf{1{,}0} \end{array} \\ \begin{array}{c} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ c_4 \\ c_5 \end{array} & \left\| \begin{array}{ccccccccccc} 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 0{,}98 & 0{,}87 & 0{,}80 & 0{,}75 & 0{,}72 \\ 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 0{,}88 & 0{,}77 & 0{,}70 & 0{,}65 & 0{,}62 \\ 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 0{,}98 & 0{,}87 & 0{,}80 & 0{,}75 & 0{,}72 \\ 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 0{,}95 & 0{,}92 \\ 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 \end{array} \right\| \end{array}$$

$$R_3 = \begin{array}{cc} & \begin{array}{ccccccccccc} \mathbf{0} & \mathbf{0{,}1} & \mathbf{0{,}2} & \mathbf{0{,}3} & \mathbf{0{,}4} & \mathbf{0{,}5} & \mathbf{0{,}6} & \mathbf{0{,}7} & \mathbf{0{,}8} & \mathbf{0{,}9} & \mathbf{1{,}0} \end{array} \\ \begin{array}{c} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ c_4 \\ c_5 \end{array} & \left\| \begin{array}{ccccccccccc} 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 0{,}93 & 0{,}83 & 0{,}77 \\ 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 0{,}95 & 0{,}83 & 0{,}73 & 0{,}67 \\ 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 0{,}85 & 0{,}73 & 0{,}63 & 0{,}57 \\ 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 0{,}98 & 0{,}88 & 0{,}82 \\ 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 0{,}97 \end{array} \right\| \end{array}$$

$$R_4 = \begin{array}{cc} & \begin{array}{ccccccccccc} \mathbf{0} & \mathbf{0{,}1} & \mathbf{0{,}2} & \mathbf{0{,}3} & \mathbf{0{,}4} & \mathbf{0{,}5} & \mathbf{0{,}6} & \mathbf{0{,}7} & \mathbf{0{,}8} & \mathbf{0{,}9} & \mathbf{1{,}0} \end{array} \\ \begin{array}{c} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ c_4 \\ c_5 \end{array} & \left\| \begin{array}{ccccccccccc} 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 0{,}98 & 0{,}88 & 0{,}82 \\ 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 0{,}93 & 0{,}83 & 0{,}77 \\ 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 0{,}85 & 0{,}73 & 0{,}63 & 0{,}57 \\ 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 0{,}95 & 0{,}83 & 0{,}73 & 0{,}67 \\ 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 0{,}97 \end{array} \right\| \end{array}$$

$$R_5 = \begin{array}{cc} & \begin{array}{ccccccccccc} \mathbf{0} & \mathbf{0{,}1} & \mathbf{0{,}2} & \mathbf{0{,}3} & \mathbf{0{,}4} & \mathbf{0{,}5} & \mathbf{0{,}6} & \mathbf{0{,}7} & \mathbf{0{,}8} & \mathbf{0{,}9} & \mathbf{1{,}0} \end{array} \\ \begin{array}{c} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ c_4 \\ c_5 \end{array} & \left\| \begin{array}{ccccccccccc} 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 \\ 0{,}92 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 \\ 0{,}52 & 0{,}64 & 0{,}79 & 0{,}96 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 0{,}86 \\ 0{,}27 & 0{,}39 & 0{,}54 & 0{,}71 & 0{,}87 & 0{,}99 & 1{,}00 & 1{,}00 & 0{,}93 & 0{,}78 & 0{,}61 \\ 0{,}57 & 0{,}69 & 0{,}84 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 0{,}91 \end{array} \right\| \end{array}$$

$$R_6 = \begin{array}{c|ccccccccccc|}
 & \mathbf{0} & \mathbf{0{,}1} & \mathbf{0{,}2} & \mathbf{0{,}3} & \mathbf{0{,}4} & \mathbf{0{,}5} & \mathbf{0{,}6} & \mathbf{0{,}7} & \mathbf{0{,}8} & \mathbf{0{,}9} & \mathbf{1{,}0} \\
c_1 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 \\
c_2 & 0{,}92 & 0{,}94 & 0{,}98 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 \\
c_3 & 0{,}72 & 0{,}74 & 0{,}78 & 0{,}84 & 0{,}94 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 \\
c_4 & 0{,}52 & 0{,}54 & 0{,}58 & 0{,}64 & 0{,}74 & 0{,}87 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 \\
c_5 & 0{,}07 & 0{,}09 & 0{,}13 & 0{,}19 & 0{,}29 & 0{,}42 & 0{,}58 & 0{,}75 & 0{,}90 & 1{,}00 & 1{,}00
\end{array}$$

В результате пересечения отношений $R_1,...,R_6$ получаем общее функциональное решение.

$$R = \begin{array}{c|ccccccccccc|}
 & \mathbf{0} & \mathbf{0{,}1} & \mathbf{0{,}2} & \mathbf{0{,}3} & \mathbf{0{,}4} & \mathbf{0{,}5} & \mathbf{0{,}6} & \mathbf{0{,}7} & \mathbf{0{,}8} & \mathbf{0{,}9} & \mathbf{1{,}0} \\
c_1 & 1{,}00 & 1{,}00 & 1{,}00 & 0{,}86 & 0{,}69 & 0{,}53 & 0{,}38 & 0{,}27 & 0{,}20 & 0{,}15 & 0{,}12 \\
c_2 & 0{,}92 & 0{,}94 & 0{,}98 & 0{,}96 & 0{,}79 & 0{,}63 & 0{,}48 & 0{,}37 & 0{,}30 & 0{,}25 & 0{,}22 \\
c_3 & 0{,}52 & 0{,}64 & 0{,}78 & 0{,}84 & 0{,}94 & 1{,}00 & 0{,}98 & 0{,}85 & 0{,}73 & 0{,}63 & 0{,}57 \\
c_4 & 0{,}27 & 0{,}39 & 0{,}54 & 0{,}64 & 0{,}74 & 0{,}87 & 1{,}00 & 0{,}95 & 0{,}83 & 0{,}73 & 0{,}61 \\
c_5 & 0{,}07 & 0{,}09 & 0{,}13 & 0{,}19 & 0{,}29 & 0{,}42 & 0{,}58 & 0{,}75 & 0{,}90 & 1{,}00 & 0{,}91
\end{array}$$

Далее, для определения удовлетворительности признаков $c_k\ (k=\overline{1,5})$ применим правило композиционного вывода в нечеткой среде: $E_k = G_k \circ R$, где E_k — степень удовлетворения k-го признака; G_k — отображение k-го признака в виде нечеткого подмножества на C; R — общее функциональное решение [3]. Нечеткие множества G_k и R имеют конечные носители и поэтому операция композиции сводится к максиминному произведению соответствующих матриц так, что $\mu_{E_k}(i) = \max\limits_{c \in U} (\min(\mu_{G_k}(C), \mu_R(C)))$. В нашем случае

$$\mu_{G_k}(C) = \begin{cases} 0, & c \neq c_k, \\ 1, & c = c_k, \end{cases}$$

поэтому $\mu_{E_k}(i) = \mu_R(c_k, i)$. Другими словами, E_k есть k-я строка ($k=\overline{1,5}$) в матрице R.

Теперь для ранжирования признаков классификатора C применим процедуру дефаззификации, подразумевающую нахождение точечных оценок для нечетких множеств E_k. Так, для признака c_1 имеем

$$E_1 = \frac{1{,}0}{0} + \frac{1{,}0}{0{,}1} + \frac{1{,}0}{0{,}2} + \frac{0{,}86}{0{,}3} + \frac{0{,}69}{0{,}4} + \frac{0{,}53}{0{,}5} + \frac{0{,}38}{0{,}6} + \frac{0{,}27}{0{,}7} + \frac{0{,}2}{0{,}8} + \frac{0{,}15}{0{,}9} + \frac{0{,}12}{1{,}0},$$

для которого построим уровневые множества $E_{1\alpha} = \{ i \mid \mu_{E_1}(i) \geq \alpha, i \in I \}$ (α-срезы) и соответствующие им мощности $M(E_{1\alpha})$ по формуле $M(E_{1\alpha}) = \sum\limits_{i=1}^{n} \frac{x_i}{n}$ для

- $0 < \alpha < 0{,}12$: $d\alpha = 0{,}12$; $E_{1\alpha} = \{0; 0{,}1; 0{,}2; 0{,}3; 0{,}4; 0{,}5; 0{,}6; 0{,}7; 0{,}8; 0{,}9; 1\}$; $M(E_{1\alpha}) = 0{,}5$.
- $0{,}12 < \alpha < 0{,}15$: $d\alpha = 0{,}03$; $E_{1\alpha} = \{0; 0{,}1; 0{,}2; 0{,}3; 0{,}4; 0{,}5; 0{,}6; 0{,}7; 0{,}8; 0{,}9\}$; $M(E_{1\alpha}) = 0{,}45$.
- $0{,}15 < \alpha < 0{,}2$: $d\alpha = 0{,}05$; $E_{1\alpha} = \{0; 0{,}1; 0{,}2; 0{,}3; 0{,}4; 0{,}5; 0{,}6; 0{,}7; 0{,}8\}$; $M(E_{1\alpha}) = 0{,}4$.
- $0{,}2 < \alpha < 0{,}27$: $d\alpha = 0{,}07$; $E_{1\alpha} = \{0; 0{,}1; 0{,}2; 0{,}3; 0{,}4; 0{,}5; 0{,}6; 0{,}7\}$; $M(E_{1\alpha}) = 0{,}35$.
- $0{,}27 < \alpha < 0{,}38$: $d\alpha = 0{,}11$; $E_{1\alpha} = \{0; 0{,}1; 0{,}2; 0{,}3; 0{,}4; 0{,}5; 0{,}6\}$; $M(E_{1\alpha}) = 0{,}3$.
- $0{,}38 < \alpha < 0{,}53$: $d\alpha = 0{,}15$; $E_{1\alpha} = \{0; 0{,}1; 0{,}2; 0{,}3; 0{,}4; 0{,}5;\}$; $M(E_{1\alpha}) = 0{,}25$.
- $0{,}53 < \alpha < 0{,}69$: $d\alpha = 0{,}16$; $E_{1\alpha} = \{0; 0{,}1; 0{,}2; 0{,}3; 0{,}4\}$; $M(E_{1\alpha}) = 0{,}20$.
- $0{,}69 < \alpha < 0{,}86$: $d\alpha = 0{,}17$; $E_{1\alpha} = \{0; 0{,}1; 0{,}2; 0{,}3\}$; $M(E_{1\alpha}) = 0{,}15$.
- $0{,}86 < \alpha < 1$: $d\alpha = 0{,}14$; $E_{1\alpha} = \{0; 0{,}1; 0{,}2\}$; $M(E_{1\alpha}) = 0{,}1$.

Точечную оценку для E_1 находим следующим образом:

$$F(E_1) = \frac{1}{\alpha_{\max}} \int_0^{\alpha_{\max}} M(E_{1\alpha}) d\alpha = \frac{1}{1} \int_0^1 M(E_{1\alpha}) d\alpha =$$

$$= 0{,}5 \cdot 0{,}12 + 0{,}45 \cdot 0{,}03 + 0{,}4 \cdot 0{,}05 + 0{,}35 \cdot 0{,}07 + 0{,}3 \cdot 0{,}11 + 0{,}25 \cdot 0{,}15 +$$

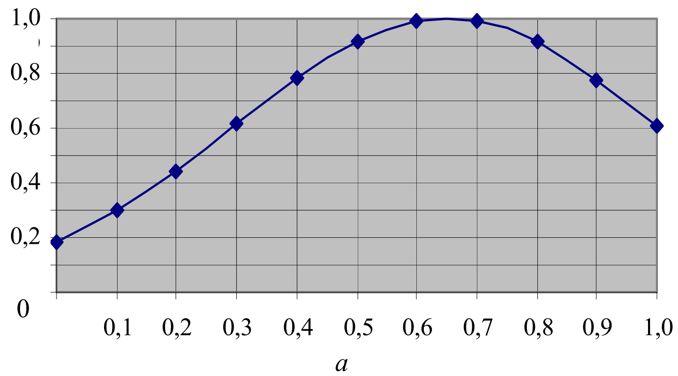
$$+ 0{,}2 \cdot 0{,}16 + 0{,}15 \cdot 0{,}17 + 0{,}1 \cdot 0{,}14 = 0{,}26 .$$

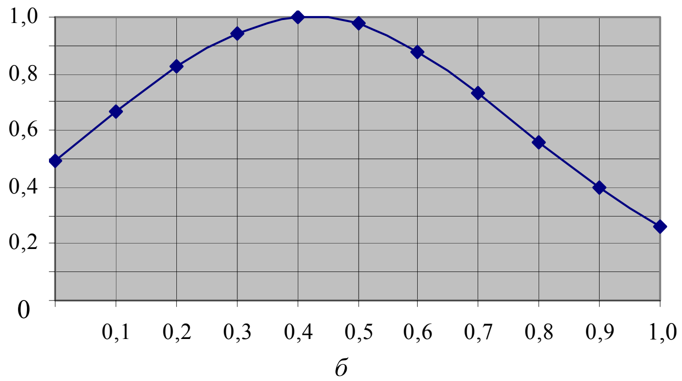
Проведя аналогичные вычисления для остальных признаков, в итоге получим соответствующие точечные оценки: $F(E_2) = 0{,}2995$, $F(E_3) = 0{,}502$, $F(E_4) = 0{,}5835$, $F(E_5) = 0{,}8735$. Признак, обладающий наибольшей точечной оценкой, считается наилучшим. В нашем случае это признак c_5. Остальные признаки ранжируются по убыванию точечных оценок, на базе которых и использованных лингвистических правил можно построить градационную шкалу для оценки уровня глобального развития СЭС. Примером такой шкалы может служить интервальная градация глобального уровня развития СЭС:

- $[0 \ldots 0{,}50]$ — бедное;
- $[0{,}501 \ldots 0{,}75]$ — ниже среднего;
- $[0{,}751 \ldots 0{,}95]$ — выше среднего;
- $[0{,}951 \ldots 1]$ — богатое.

ОЦЕНКА ГЛОБАЛЬНОГО УРОВНЯ РАЗВИТИЯ АЗЕРБАЙДЖАНА

По данным исследований за 2002-й год, проведенных в рамках Программы развития ООН, Азербайджан с показателем $0{,}758$ вошел в состав стран со средним уровнем *HDI* ($0{,}5 \ldots 0{,}799$), а с показателем $TAI = 0{,}421$ вошел в группу стран, «возможно, ведущих в области использования технологий» ($0,35\ldots0,49$) [5]. С учетом (1) построим функции принадлежности для нечетких терм-множеств «средний» и «возможно, ведущая страна» соответствующих лингвистических переменных «индекс человеческого развития» и «индекс технологических достижений» (см. рисунок).





Функции принадлежности нечетких терм-множеств: *а* — «средний уровень индекса человеческого развития»; *б* — «возможно, ведущая страна в области применения технологий»

По указанным данным для Азербайджана и соответствующим значениям функций принадлежности $\mu_{HDI}(0{,}758) = 0{,}954$ и $\mu_{TAI}(0{,}421) = 1{,}0$ можно сделать вывод, что метамодель СЭС Азербайджана по своим экзогенным характеристикам отвечает признаку c_4. Другими словами, глобальный уровень ее развития будет соответствовать точечной оценке $F(E_4) = 0{,}5975$ и являться *ниже среднего*.

Динамика изменения показателя индекса *HDI* по Азербайджану за промежуток времени с 1996 г. по 2002 г. включительно показывает, что в среднем за год этот индекс растет на 0,009. Тогда на основе функции принадлежности нечеткого множества «Y = БОГАТЫЙ» можно предположить, что при данном темпе роста индекса *HDI* Азербайджан может приблизиться к уровню глобального развития «БОГАТЫЙ» к 2025-му году. При прогнозируемой на 2025-й год величине индекса *HDI* 0,965 единиц соответствующее ей значение функции принадлежности будет $\mu_{HDI}(0{,}965) = 0{,}995$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемая работа не претендует на полное исследование проблемы «глобальное развитие СЭС государства». Для полного исследования этой задачи необходимо построить и другую модель метауровня СЭС, описывающую влияние на функционирование СЭС таких глобальных факторов, как мировые рыночные цены на нефть и золото, индексы мировых финансовых рынков, темпы роста мировой экономики, мировые войны и экологические катаклизмы, политики ведущих государств и международных экономических организаций по отношению к данному государству.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Заде Л.* Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. Математика. Новое в зарубежной науке / Пер. с англ. Под ред. Н.Н. Моисеева и С.А. Орловского. — М.: Мир, 1976. — 166 с.
2. *Aliev R.A., Fazlollahi B., Aliev R.R.* Soft Computing and its Applications in Business and Economics. — Springer-Verlag: Berlin-Heidelberg, 2004. — 446 p.
3. *Андрейченков А.В., Андрейченкова О.Н.* Анализ, синтез, планирование решений в экономике. — М.: Финансы и статистика, 2000. — 368 с.
4. Иманов К.Д. Application of Soft Computing for Evolution of the Indicators of Socioeconomic System // Knowledge Education Society of AR. Business. — 2004. — **3**. — P. 8–12.
5. *Программа* развития Организации Объединенных Наций. Отчет о человеческом развитии в Азербайджанской Республике. Представительство ПР ООН в Азербайджане. — Баку: Весь мир, 2003 — 76 с.

Поступила 10.01.2006