УДК 519.8+519.72(06)

МЕТОД ОЦЕНКИ ВЕРОЯТНОСТИ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ИСТОЧНИКАМИ ИНФОРМАЦИИ

д.т.н., проф. В.М. Бильчук, Н.А. Александрикова,
О.В. Десятов, И.С. Николаева

Оценка вероятности информационного обеспечения об объектах основана на рассмотрении лингвистической переменной. Формирование функции принадлежностей для ее нечетких переменных обеспечивает принятие решений лицом, принимающим решение (ЛПР) в условиях нестохастической неопределенности.

Состояние народно-хозяйственных объектов (предприятий производства продукции, пунктов реализации продукции и др.) может быть описано и определено ЛПР при наличии необходимой информации. С точки зрения функционального предназначения и способов достижения его результатов все объекты можно разделить на стационарные и подвижные. Информационное обеспечение ЛПР как о стационарных, так и о подвижных объектах, согласно [1], может реализовываться от следующих источников информации: техническая (экономическая) разведка, агентурная разведка, космическая разведка и средства массовой информации. Исходит ЛПР из того, что интересующая его информация о стационарных и подвижных объектах может быть получена от любого приведенного выше источника информации. В зависимости от функционального предназначения стационарного или подвижного объекта "доверие" ЛПР к полученной о нем информации от того или иного источника информации будет различное, и свои решения ЛПР будет принимать с различным уровнем информационного риска.

Введем в рассмотрение события $A_{s,q}^{(r)}$ и $A_{\bar{s},q}^{(r)}$ соответственно, состоящие в том, что информация содержания $r=\overline{1,R}$ для s-го стационарного объекта, где $s=\overline{1,S}$, и для $\bar{s}$-го подвижного объекта, где $\bar{s}=\overline{1,\bar{S}}$, будет получена от q-го источника информации, где $q=\overline{1,4}$. Тогда численной мерой информационного риска при принятии решения ЛПР будет вероятность событий $P\left(A_{s,q}^{(r)}\right)$ и $P\left(A_{\bar{s},q}^{(r)}\right)$.

Приемлемым подходом к оценке $P\left(A_{s,q}^{(r)}\right)$ и $P\left(A_{\bar{s},q}^{(r)}\right)$ в условиях нестохастической неопределенности является введение лингвистической переменной соответственно β_s = < "*Значение вероятности события* $A_{s,q}^{(r)}$ " > и $\beta_{\bar{s}}$ = < "*Значение вероятности события* $A_{\bar{s},q}^{(r)}$ " >. Согласно [3] лингвистическая переменная – это кортеж < β, $T(\beta)$, X, G, M >, где β – название лингвистической переменной; $T(\beta)$ – терм-множество лингвистической переменной β, элементы которого α_i, $i=\overline{1,n}$ – суть наименование нечеткой переменной < α, X, $\widetilde{C}(\alpha)$ > как лингвистических значений лингвистической переменной, где X – область определения нечеткой переменной, $\widetilde{C}(\alpha)=\left\{\mu_{\widetilde{C}(\alpha)}(x)/x\right\}$ $x\in X$, $\mu_{\widetilde{C}(\alpha)}(x)$ – значение функции принадлежности; G – синтаксическое правило, порождающее наименование переменной $\alpha \in T(\beta)$ как вербальных значений лингвистической переменной; M – синтаксическое правило, которое ставит в соответствие каждой переменной $\alpha \in T(\beta)$ нечеткое множество $\widetilde{C}(\alpha)$. Исходя из субъективного представления ЛПР о разведывательных возможностях рассматриваемых источников информации, для введенных в рассмотрение лингвистических переменных могут быть определены терм-множества, содержащие следующие значения нечеткой переменной α:

α_1 – незначительное значение вероятностей событий $A_{s,q}^{(r)}$, $A_{\bar{s},q}^{(r)}$;

α_2 – почти значительное значение вероятностей этих событий;

α_3 – значительное значение вероятностей этих событий;

α_4 – высокое значение вероятностей тех же событий.

В [4] приведены условия, которым в силу своей семантики должны удовлетворять формируемые для каждого значения нечеткой переменной α функции принадлежности. Их содержание состоит в следующем. Пусть $X \subseteq R$, где R – множество действительных чисел, и $x_1=\inf X$, а $x_2=\sup X$. Если $T(\beta)$ = $\{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4\}$, то множество $T(\beta)$ упорядочивается по условию

$$\left(\forall \alpha_i \in T(\beta)\right)\left(\forall \alpha_j \in T(\beta)\right)\left\langle i>j \leftrightarrow \left(\exists x \in \mu_{\widetilde{C}(\alpha_i)}(x)\right)\right\rangle\left(\forall y \in \mu_{\widetilde{C}(\alpha_j)}(x)/(x>y)\right).$$

Это значит, что терм, который имеет носитель (функцию принадлежности), расположенный левее, получает меньший номер и терм-множество любой лингвистической переменной удовлетворяет условиям:

$$\mu_{C(\alpha_i)}(x_i)=1;\ i=\overline{1,m},\ i=1 \text{ и } i=m, \alpha_i \in T(\beta),$$

т.е. функции принадлежности крайних значений нечеткой переменной (термов) не могут иметь вид колоколообразных кривых, что обусловлено расположением этих термов в упорядоченном множестве $T(\beta)$;

$$\left(\forall \alpha_i \in T(\beta) \setminus \alpha_m\right)\left(0 < \sup_{x \in X} \mu_{\widetilde{C}_{(\alpha_i)} \cap \widetilde{C}_{(\alpha_{i+1})}}(x) < 1\right),$$

что означает недопустимость в $T(\beta)$ термов типа (α_1 и α_2) или (α_1 и α_3), ибо в первом случае отсутствует естественная разграниченность понятий, аппроксимируемых термами, а во втором найдется участок области определения X, которому не соответствует ни одна из понятий нечеткой переменной (терма);

$$\left(\forall \alpha_i \in T(\beta)\right)\left(\exists x \in X\right)\left(\mu_{\widetilde{C}_{(\alpha_i)}}(x) = 1\right),$$

что означает, что для любого значения нечеткой переменной α найдется такое $x \in X$, при котором функция принадлежности равна единице;

$$\left(\forall \beta\right)\left(\exists x_1 \in R\right)\left(\exists x_2 \in R\right)\left(\left(\forall x \in X\right)\left(x_1 < x < x_2\right)\right),$$

что констатирует тот факт, что для любой задачи управления имеет место физическое отражение на множестве, определяющее область определения X рассматриваемой лингвистической переменной.

Основываясь на этих свойствах и практических приложениях ожидаемого результата и физических (технических) возможностях рассматриваемых источников информации исследователь согласует с ЛПР область определения лингвистических переменных β_s и $\beta_{\widetilde{s}}$ в виде

X = (0,05; 0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,3; 0,35; 0,4; 0,45; 0,5; 0,55; 0,6; 0,65; 0,7; 0,75; 0,8; 0,85),

где $P\left(A_{s,q}^{(r)}\right) = P\left(A_{\bar{s},q}^{(r)}\right) < 0,05$ – принятые в приложениях информационного обеспечения об объектах стационарных и подвижных практически не представляются интересными, а $P\left(A_{s,q}^{(r)}\right) = P\left(A_{\bar{s},q}^{(r)}\right) > 0,85$ – технически нереализуемыми рассматриваемыми источниками информации.

К тому же ЛПР определяет, что терм "Незначительная вероятность" он связывает с множеством значений $x \in X$ вида (x_1 = 0,05; x_2 = 0,1; x_3 = 0,15; x_4 = 0,2; x_5 = 0,25); терм "Почти значительная вероятность" – с множеством значений (x_5 = 0,25; x_6 = 0,3; x_7 = 0,35; x_8 = 0,4; x_9 = 0,45); терм "Значительная вероятность" – с множеством значений (x_9 = 0,45; x_{10}= 0,5; x_{11} = 0,55; x_{12} = 0,6; x_{13} = 0,65); терм "Высокая вероятность" – с множеством значений (x_{13} = 0,65; x_{14} = 0,7; x_{15} = 0,75; x_{16} = 0,8; x_{17} =0,85).

Нечеткие множества $\widetilde{C}(\alpha_i)$, $i = \overline{1,4}$, нечеткой переменной α могут лишь быть сформированы на основе постановки экспертизы и обработки экспертных данных.

Согласно [2], постановка экспертизы в интересах выявления $\widetilde{C}(\alpha_i), i = \overline{1,4}$ основана на следующем.

Для матрицы $A = \left\| a_{ij} \right\|$; $i, j = \overline{1,n}$, т.е. для всякой квадратной матрицы A, рассмотрение матричного уравнения $AY^T=\lambda Y$ позволяет определить ей соответствующие собственные числа λ_q, $q=\overline{1,G}$ как корни характеристического уравнения $A - \lambda \cdot E = 0$, где E – единичная матрица. Из определения понятий собственных чисел и собственных векторов матрицы A следует, что каждому собственному числу λ_q, $q=\overline{1,G}$ будет соответствовать собственный вектор Y_q, $q=\overline{1,G}$.

Если матрица A положительная, обратно симметричная и согласованная, то есть, если $a_{ij} > 0$; $a_{ji} = 1/a_{ij}$; $a_{ik} = a_{ij}a_{jk}$; $i,j,k=\overline{1,n}$, то уравнение $A-\lambda E=0$ имеет единственное решение $\lambda = \lambda_{max} = n$ и этому значению собственного числа будет соответствовать единственный собственный вектор Y. Поэтому, если субъективные мнения экспертов относительно $\widetilde{C}(\alpha_i) = \{\ \mu_{\widetilde{C}(\alpha)}(x)/x\ \}$, $x \in X$, $i=\overline{1,4}$ будут выражены положительной, обратно симметричной и согласованной матрицей, то решение уравнения $AY^T=nY$ позволяет определить вектор $Y=\{\ \mu_{\widetilde{C}(\alpha)}(x)\ \}$, а значение $\lambda_{max} = n$ будет выступать мерой согласованности суждений экспертов. Тогда целесообразна следующая схема экспертизы: в экспертизе принимает участие L экспертов, эксперты высказывают свои суждения независимо, обратная связь отсутствует, экспертам приписываются одинаковые (или разные) веса, эксперты не располагают ранжировкой рассматриваемых источников информации, они располагают суждениями ЛПР о том, какие значения дискретизированной области определения лингвистической переменной X он связывает с тем или иным термом (значением нечеткой переменной), что им позволяет установить несравнимость элементов матрицы A.

Каждый ℓ-й эксперт, $\ell=\overline{1,L}$, высказывает суждения о том, во сколько раз значение функции принадлежности, например значения α_1 нечеткой переменной α, $\mu_{\widetilde{C}(\alpha_1)}(x_i)$ превосходит значение функции принадлежности $\mu_{\widetilde{C}(\alpha_1)}(x_j)$, где $x_i, x_j \in X$; $i,j=\overline{1,n}$.

Если $a_{ij}^{(\ell)} = \dfrac{\mu_{\widetilde{C}(\alpha_1)}(x_i)}{\mu_{\widetilde{C}(\alpha_1)}(x_j)}$, $a_{ij}^{(\ell)} = \dfrac{1}{a_{ij}^{(\ell)}}$, $a_{ik}^{(\ell)} = a_{ij}^{(\ell)} \cdot a_{jk}^{(\ell)}$, то $a_{ij}^{(\ell)} > 0$, $a_{ii}^{(\ell)} = 1$, $i,j=\overline{1,n}$

Субъективные мнения экспертов усредняются, и тогда $a_{ij}=\dfrac{\sum_{\ell=1}^{L} a_{ij}^{(\ell)}\cdot k_\ell}{\sum_{\ell=1}^{L} k_\ell}$, а при условии, что $\sum_{i=1}^{n}\mu_{\widetilde{C}(\alpha_1)}(x_i)=1$, имеем

$$K_j=\sum_{i=1}^{n}\frac{\mu_{\widetilde{C}(\alpha_1)}(x_i)}{\mu_{\widetilde{C}(\alpha_1)}(x_j)}=\frac{1}{\mu_{\widetilde{C}(\alpha_1)}(x_j)}\ . \qquad (1)$$

Тогда по уравнению

$$A\mu^T=\lambda_{max}\cdot\mu \qquad (2)$$

формируется вектор $\mu=\left\{\ \mu_{\widetilde{C}(\alpha_1)}(x_j)\right\},\ j=\overline{1,n}$, где $\left\{\mu_{\widetilde{C}(\alpha_1)}(x_j)\right\}\ =\dfrac{1}{k_j}$.

В общем случае, полученный по результатам обработки экспертизы, вектор μ может не удовлетворять уравнению $A\cdot Y^T=n\cdot Y$, ибо согласованность положительной обратносимметричной матрицы соответствует требованию $\lambda_{max}=n$. Неравенство $\lambda_{max}\geq n$ всегда верно. Отклонение от согласованности может быть оценено по соотношению

$$\eta=\frac{\widetilde{\lambda}_{max}-n}{n-1}\ , \qquad (3)$$

ибо при сравнении n элементов эксперт высказывает (n - 1) суждений. Вектор $\overline{\lambda}_{max}$ наилучший по элементным делениям вектора $A\cdot\mu^T$ на вектор μ, а $\widetilde{\lambda}_{max}$ – усредненное значение компонент вектора $\overline{\lambda}_{max}$. Если η не удовлетворяет по требованиям точности, то матрица A поправляется с учетом полученного вектора μ. Итерационная процедура повторяется до тех пор, пока на $к$-м шаге η_k будет удовлетворять требованиям точности.

Свои суждения о том, во сколько раз значение функции принадлежности $\mu_{\widetilde{C}(\alpha_1)}(x_i)$ превосходит значение функции принадлежности $\mu_{\widetilde{C}(\alpha_1)}(x_j)$, каждый ℓ-й эксперт формирует на основании качественных оценок, которые позаимствованы в [2] и представлены в табл. 1.

Таблица 1

Качественные оценки значения нечетких переменных

	Качественная оценка	Содержание качественной оценки
1	2	3
0	Несравнимость	Нет смысла сравнивать элементы
1	Одинаковое значение	Элементы равны по значимости
3	Слабо значимее	Существуют показания о предпочтении одного элемента другому, но показания неубедительны

Окончание табл. 1

1	2	3
5	Существенно или сильно значимее	Существуют хорошие доказательства, которые могут показать, что один из элементов более важен
7	Очевидно значимее	Существуют убедительные доказательства большей значимости одного элемента по сравнению с другим
9	Абсолютно значимее	Максимально подтверждается ощутимость предпочтения одного элемента другому
2,4, 6,8	Промежуточные оценки между соседними оценками	Необходим компромисс

Матрица A для значения α_1 нечеткой переменной α как усредненный результат мнений L экспертов на основании качественных бинарных сравнений в соответствии с табл. 1 имеет вид

$$A=\begin{array}{cc} & \begin{matrix} x_1 & x_2 & x_3 & x_4 & x_5 & x_6 & x_7 & \dots & x_{16} & x_{17} \end{matrix} \\ \begin{matrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \\ x_7 \\ \dots \\ x_{16} \\ x_{17} \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 5 & 9 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0{,}5 & 1 & 1 & 5 & 7 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0{,}33 & 1 & 1 & 2 & 3 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0{,}2 & 0{,}2 & 0{,}5 & 1 & 2 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0{,}11 & 0{,}14 & 0{,}33 & 0{,}5 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 \end{pmatrix} \end{array},$$

где нули соответствуют несравнимости α с другими термами множества $T(\beta)$.

Согласно (1) и (2) имеем, что

$$\begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 5 & 9 \\ 0{,}5 & 1 & 1 & 5 & 7 \\ 0{,}33 & 1 & 1 & 2 & 3 \\ 0{,}2 & 0{,}2 & 0{,}5 & 1 & 2 \\ 0{,}11 & 0{,}14 & 0{,}33 & 0{,}5 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0{,}47 \\ 0{,}23 \\ 0{,}17 \\ 0{,}07 \\ 0{,}045 \end{pmatrix} = \lambda_{max}(0{,}47; 0{,}23; 0{,}17; 0{,}07; 0{,}045).$$

Полученный вектор μ не удовлетворяет требованию (3) по точности. На второй итерации матрица A имеет вид

$$A_1 = \begin{pmatrix} 1 & 2,04 & 2,76 & 6,71 & 10,44 \\ 0,49 & 1 & 1,35 & 3,29 & 5,1 \\ 0,36 & 0,74 & 1 & 2,43 & 3,77 \\ 0,15 & 0,304 & 0,412 & 1 & 1,56 \\ 0,096 & 0,196 & 0,265 & 0,641 & 1 \end{pmatrix},$$

и поправленный вектор μ = (0,477; 0,233; 0,173; 0,071; 0,046) удовлетворяет требованиям по точности. После нормирования вектора μ нечеткое множество терма α_1 принимает вид

$$\widetilde{C}_{(\alpha_1)} = \{1/0{,}05;\ 0{,}49/0{,}1;\ 0{,}36/0{,}15;\ 0{,}15/0{,}2;\ 0{,}1/0{,}25\}.$$

Аналогичная постановка экспертизы и обработка экспертных данных дают результаты:

$$\widetilde{C}_{(\alpha_2)} = \{0{,}24/0{,}25;\ 0{,}3/0{,}3;\ 0{,}71/0{,}35;\ 1/0{,}4;\ 0{,}84/0{,}45\};$$

$$\widetilde{C}_{(\alpha_3)} = \{0{,}1/0{,}45;\ 0{,}15/0{,}5;\ 1/0{,}55;\ 0{,}34/0{,}6;\ 0{,}1/0{,}65\};$$

$$\widetilde{C}_{(\alpha_4)} = \{0{,}06/0{,}65;\ 0{,}1/0{,}7;\ 0{,}16/0{,}75;\ 0{,}27/0{,}8;\ 1/0{,}85\}.$$

Графическое представление нечетких множеств $\widetilde{C}_{(\alpha_1)}, \widetilde{C}_{(\alpha_2)}, \widetilde{C}_{(\alpha_3)}$, $\widetilde{C}_{(\alpha_4)}$ представлено на рис. 1.

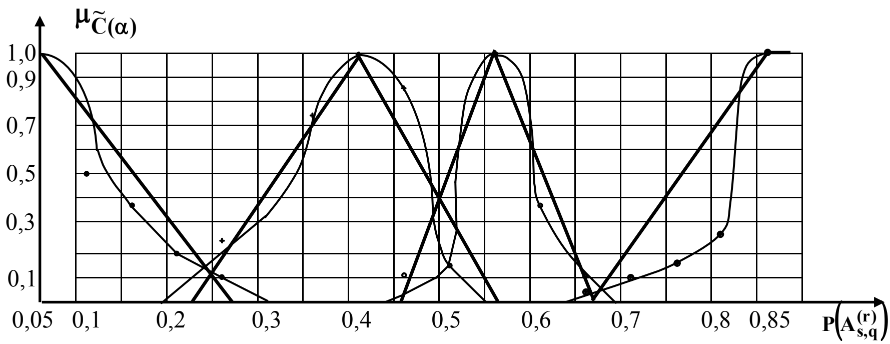

Рис. 1. Графическое представление функции принадлежности лингвистической переменной "*Значение вероятности события* $A_{s,q}^{(r)}$"

На рис. 1 отмечены значения носителей нечетких множеств $\widetilde{C}_{(\alpha_1)}, \widetilde{C}_{(\alpha_2)}, \widetilde{C}_{(\alpha_3)}$, $\widetilde{C}_{(\alpha_4)}$, которые качественно сглажены кривыми и прямыми. Значения $P\left(A_{s,q}^{(r)}\right)$ при принятых значениях функции принадлежности для рассматриваемого терм-множества лингвистической переменной представлены в табл. 2.

Для принятия решения ЛПР могут быть рекомендованы уровни функции принадлежности $\mu_{\tilde{C}(\alpha)} \geq 0{,}5$, и оно может ориентироваться на значения $P\left(A_{s,q}^{(r)}\right)$ при принятых термах для рассматриваемой лингвистической переменной на данные, которые представлены в табл. 2.

Таблица 2

Значение лингвистической переменной при различных уровнях значений функции принадлежности

$T(\beta)$ / $\mu_{\tilde{C}(\alpha)}$	α_1 – "*незначительная*"	α_2 – "*почти незначительная*"	α_3 – "*значительная*"	α_4 – "*высокая*"
1	0,05	0,4	0,55	0,85
0,9	0,07	0,38 ÷ 0,42	0,54 ÷ 0,56	0,84
0,8	0,09	0,37 ÷ 0,44	0,53 ÷ 0,58	0,82
0,7	0,12	0,35÷ 0,45	0,52÷ 0,59	0,8
0,6	0,14	0,33 ÷ 0,47	0,51 ÷ 0,6	0,78
0,5	0,16	0,36 ÷ 0,48	0,5 ÷ 0,61	0,76

Аналогично могут быть выработаны рекомендации для ЛПР по значению вероятности $P\left(A_{\bar{s},q}^{(r)}\right)$.

В заключение следует отметить, что каждый из полученных результатов функции принадлежности (α_1, α_2, α_3, α_4) не следует относить к конкретному источнику информации. Вопрос: тогда какое соответствие будет между источниками информации и нечеткими переменными? Представленное выше решение ответа на этот вопрос не дает. На наш взгляд, для этого следует рассматривать задачу ранжирования источников информации.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Алексеева И.Ю. и др. Информационные вызовы национальной и международной безопасности / Под общ ред. А.В. Федорова, В.Н. Цыгичко. – М.: ПИР – Центр, 2001. – 328 с.*
2. *Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Перевод с англ. Р. Г. Вагнадзе. – М.: Радио и связь, 1993. – 314 с.*
3. *Борисов А.Н., Крумберг О.А., Федоров И.П. Принятие решений на основе нечетких моделей: Примеры использования. – Рига: Зинатне, 1990. – 184 с.*
4. *Мелихов А. Н. и др. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. – М.: Наука, 1990. – 272 с.*

Поступила 14.10.2002

БИЛЬЧУК Виктор Михайлович, *доктор техн. наук, профессор, заведующий ка-*

федрой ХВУ. В 1956 г. окончил ХВАИВУ, в 1967 г. – ХГУ. Область научных интересов – системный анализ эффективности функционирования сложных систем и операций.

АЛЕКСАНДРИКОВА Наталья Анатольевна*, инженер-программист ХВУ. В 1978 году окончила ХИРЭ. Область научных интересов – системный анализ эффективности функционирования сложных систем и операций.*

ДЕСЯТОВ Олег Валериевич*, адъюнкт ХВУ. В 1999 году окончил ХВУ. Область научных интересов – системный анализ эффективности функционирования сложных систем и операций.*

НИКОЛАЕВА Ирина Сергеевна*, магистр-экономист. В 2000 году окончила ХАОП. Область научных интересов – экономико-математическое моделирование.*