УДК 004.056.5(045)

МЕТОД ТРАНСФОРМИРОВАНИЯ ТЕРМОВ ЛИНГВИСТИЧЕСКИХ ПЕРЕМЕННЫХ В ЗАДАЧАХ АНАЛИЗА И ОЦЕНИВАНИЯ РИСКОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Светлана Казмирчук

Один из этапов построения комплексной системы защиты информации и системы менеджмента информационной безопасности обеспечивается реализацией процесса анализа и оценивания рисков. В соответствующих системах, при оценивании в нечетких условиях для интерпретации описаний естественного языка, используют лингвистические переменные с определенным количеством термов, которые отображаются нечеткими числами. В практическом использовании указанных систем возникают ситуации, при которых удобно для анализа и оценивания рисков применять эталонны с возможностью варьирования количеством термов. Для этого необходимо переопределение указанных эталонов без участия экспертов. Для решения такой задачи предложен метод, в основе которого заложена аналитическая функция позволяющая осуществлять трансформирование (эквивалентное преобразование) большего количества термов лингвистических переменных в меньшее. Такой подход позволит повысить гибкость разрабатываемых средств оценивания, которые основываются на логико-лингвистическом подходе и используют для описания лингвистических переменных трапециевидные и треугольные нечеткие числа.

Ключевые слова: *риск, анализ рисков, оценивание рисков, система анализа и оценивания рисков, параметры риска, лингвистическая переменная, нечеткая переменная, эталонные значения, трансформирование термов лингвистических переменных, эквивалентное преобразование термов лингвистических переменных.*

Для реализации процесса анализа и оценивания рисков (АОР), как одного из этапов при построении комплексной системы защиты информации и системы менеджмента информационной безопасности, предлагается использовать новые программные решения соответствующих систем оценивания [1-3], которые основаны на логико-лингвистическом подходе [7, 8], известных методах [3, 6], методологии синтеза систем АОР потерь информационных ресурсов [3, 5] и модели интегрированного представления параметров риска [3, 4]. Указанные программные решения дают возможность на практике осуществлять оценивание при различных исходных величинах, а также учитывать возможность четкого детермеинирования экспертом оцениваемых параметров и условия, когда эксперт сомневается в однозначности своих приоритетов [7, 8].

В соответствующих системах, при оценивании в нечетких условиях для интерпретации описаний естественного языка используют лингвистические переменные (ЛП), например, $\boldsymbol{DR}$=«СТЕПЕНЬ РИСКА», с определенным количеством термов, которые отображаются нечеткими числами (НЧ) относительно интервалов значений, количество которых зависит от числа используемых термов. В практическом использовании указанных систем возникают ситуации, при которых удобно для анализа и оценивания рисков применять эталонны с другим количеством термов. При этом следует осуществить их переопределение, для чего необходимо привлекать экспертов соответствующей предметной области, что в реальных условиях есть достаточно проблематичным. В связи с этим, актуальной является задача эквивалентного преобразования ЛП посредством создания эталонов параметров с возможностью варьирования числом термов.

Решать поставленную задачу предлагается с помощью метода, в основе которого заложена аналитическая функция, позволяющая осуществлять трансформирование значений термов ЛП, посредством соответствующего эквивалентного преобразования. Как уже было отмечено в работах [1-3, 6] для интерпретации нечетких описаний можно использовать ЛП $\boldsymbol{DR}$ = «СТЕПЕНЬ РИСКА» ($\boldsymbol{DR} \in \{\boldsymbol{DR}_j\}$), которая определяется кортежем [3, 6-8] $<\boldsymbol{DR}, T_{DR}, X_{DR}>$. Здесь базовые терм-множества задаются m термами:

$$T_{DR}^{(m)} = \bigcup_{j=1}^{m} T_{DR_j} = \{T_{DR_1}, \ \dots, \ T_{DR_j}, \ \dots, \ T_{DR_m}\},$$

где (m) – идентификатор, указывающий на общее количество термов в $\boldsymbol{DR}$. Из этого следует, что соответствующая ЛП $\boldsymbol{DR}$ отображается m термами $T_{DR}^{(m)}$, обозначается $\boldsymbol{DR}^{(m)}$ и является m-мерной. Так, например, зададим 5-мерную (m=5) ЛП $\boldsymbol{DR}^{(5)}$ термами:

$T_{DR}^{(5)} = \bigcup_{j=1}^{5} T_{DR_j}$ = {«Незначительный риск нарушения информационной безопасности (ИБ)» (НР), «Степень риска нарушения ИБ низкая» (РН), «Степень риска нарушения ИБ средняя» (РС), «Степень риска нарушения ИБ высокая» (РВ), «Предельный риск нарушения ИБ» (ПР)}), (1)

которые представим трапециевидными НЧ с функциями принадлежности (ФП) соответственно $\mu_1(dr)$, …, $\mu_j(dr)$, …, $\mu_m(dr)$, вычисляемые по следующему выражению [7]:

$$\mu_j(dr)=\begin{cases} L\left(\dfrac{b_{1j}-dr}{b_{1j}-a_j}\right), & dr\in[a_j,b_{1j}];\\ 1, & dr\in[b_{1j},b_{2j}];\\ R\left(\dfrac{dr-b_{2j}}{c_j-b_{2j}}\right), & dr\in[b_{2j},c_j],\end{cases}$$

где $a_j \le b_{1j} \le b_{2j} \le c_j$, при $j=\overline{1,m}$, $\{a_1\ c_m\}=\{\varnothing\}$, а $L(dr)$, $R(dr)$ – функции (невозрастающие на множестве не положительных чисел), которые удовлетворяют свойствам:

$$L(-dr) = L(dr),\ R(-dr) = R(dr),\ L(0) = R(0) = 1.$$

Для целей компактного представления трапециевидные ФП $\mu(dr)$ удобно описывать НЧ в виде:

$$\underset{\sim}{X}_{DR} = (a,\ b_1,\ b_2,\ c)_{LR},$$

где a и c – абсциссы нижнего основания, а b_1 и b_2 – абсциссы верхнего основания трапеции (например, см. рис. 1, a), задающей $\mu(dr)$ в области с ненулевой принадлежностью носителя dr соответствующему нечеткому подмножеству [8]. Для каждого из термов T_{DR1}, …, T_{DRj}, …, T_{DRm} задается свой интервал значений $[dr_{min};\ dr_1[$, …, $[dr_j;\ dr_{j+1}[$, …, $[dr_m;\ dr_{max}]$ ($j=\overline{1,m}$), а каждый терм ЛП отображается посредствам НЧ, пример которых приведен в табл. 1.

Таблица 1

Пример эталонных трапециевидных НЧ при m=5

Тип распределения НЧ ЛП ***DR***	НЧ $T_{DR_j} = (a_j,\ b_{1j},\ b_{2j},\ c_j)_{LR}$ ($j=\overline{1,5}$)				
	T_{DR_1}	T_{DR_2}	T_{DR_3}	T_{DR_4}	T_{DR_5}
Равномерное	$(0;\ 0;\ 11{,}11;\ 22{,}22)_{LR}$	$(11{,}11;\ 22{,}22;\ 33{,}33;\ 44{,}44)_{LR}$	$(33{,}33;\ 44{,}44;\ 55{,}55;\ 66{,}66)_{LR}$	$(55{,}55;\ 66{,}66;\ 77{,}77;\ 88{,}88)_{LR}$	$(77{,}77;\ 88{,}88;\ 99{,}99;\ 100)_{LR}$
Неравномерное	$(0;\ 0;\ 0;\ 20)_{LR}$	$(30;\ 30;\ 50;\ 50)_{LR}$	$(60;\ 60;\ 65;\ 65)_{LR}$	$(75;\ 75;85;\ 85)_{LR}$	$(95;\ 97;\ 100;\ 100)_{LR}$
Возрастающее	$(0;\ 0;\ 3;\ 8)_{LR}$	$(3;\ 8;\ 15;\ 24)_{LR}$	$(15;\ 24;\ 35;\ 48)_{LR}$	$(35;\ 48;\ 63;\ 80)_{LR}$	$(63;\ 80;\ 100;\ 100)_{LR}$
Убывающее	$(0;\ 0;\ 20;\ 37)_{LR}$	$(20;\ 37;\ 52;\ 65)_{LR}$	$(52;\ 65;\ 76;\ 85)_{LR}$	$(76;\ 85;\ 92;\ 97)_{LR}$	$(92;\ 97;\ 100;\ 100)_{LR}$

Для эквивалентного преобразования m-мерных термов НЧ ЛП $\boldsymbol{DR}^{(m)}$ в $\boldsymbol{DR}^{(m-1)}$ предлагается метод трансформирования термов. Пусть исходная ЛП имеет вид: $\boldsymbol{DR}^{(m)}$ $\{T_{DR1}{}^{(m)}=(a_1{}^{(m)};\ b_{11}{}^{(m)};\ b_{21}{}^{(m)};\ c_1{}^{(m)})_{LR}$, … , $T_{DRj}{}^{(m)} = (a_j{}^{(m)};\ b_{ij}{}^{(m)};\ b_{ij}{}^{(m)};\ c_j{}^{(m)})_{LR}$, … , $T_{DRm}{}^{(m)} = (a_m{}^{(m)};\ b_{im}{}^{(m)};\ b_{im}{}^{(m)};\ c_m{}^{(m)})_{LR}\}$, а преобразованная – $\boldsymbol{DR}^{(m-1)}\{T_{DR1}{}^{(m-1)} = (a_1{}^{(m-1)};\ b_{11}{}^{(m-1)};\ b_{21}{}^{(m-1)};\ c^{(m-1)})_{LR}$, … , $T_{DRj}{}^{(m-1)} = (a_j{}^{(m-1)};\ b_{ij}{}^{(m-1)};\ b_{ij}{}^{(m-1)};\ c_j{}^{(m-1)})_{LR}$, … , $T_{DRm-1}{}^{(m-1)} = (a_{m-1}{}^{(m-1)};\ b_{im-1}{}^{(m-1)};\ b_{im-1}{}^{(m-1)};\ c_{m-1}{}^{(m-1)})_{LR}\}$ ($j=\overline{1,m}$, $i=\overline{1,2}$), тогда функцию трансформирования ЛП на минус один порядок обозначим через $FT^{-1}(\boldsymbol{Л П})$. Тогда, например, понижение $\boldsymbol{DR}^{(m)}$ на один порядок можно представить как:

$$\boldsymbol{DR}^{(m-1)} = FT^{-1}(\boldsymbol{DR}^{(m)}). \qquad (2)$$

Заданная функция реализуется посредством следующих аналитических преобразований:

для $T_{DR_1^{(m-1)}}$ –

$$a_1^{(m-1)} = k_1{}^{(m-1)}(a_1^{(m)} + a_2^{(m)} - A^{(m-1)})/2;$$
$$c_1^{(m-1)} = k_1{}^{(m-1)}(c_1^{(m)} + c_2^{(m)} - A^{(m-1)})/2; \qquad (3)$$
$$b_{11}^{(m-1)} = k_2{}^{(m-1)}(b_{11}^{(m)} + b_{12}^{(m)} - B^{(m)})/2;$$
$$\dots$$

для $T_{DR_j^{(m-1)}}$ –

$$a_j^{(m-1)} = k_1{}^{(m-1)}(a_j{}^{(m)} + a_{j+1}^{(m)} - A^{(m-1)})/2;$$
$$c_j^{(m-1)} = k_1{}^{(m-1)}(c_j^{(m)} + c_{j+1}^{(m)} - A^{(m-1)})/2; \qquad (4)$$
$$b_{ij}^{(m-1)} = k_2{}^{(m-1)}(b_{ij}^{(m)} + b_{ij+1}^{(m)} - B^{(m-1)})/2;$$
$$\dots$$

для $T_{DR_{m-1}^{(m-1)}}$ –

$$a_{m-1}^{(m-1)} = k_1{}^{(m-1)}(a_{m-1}^{(m)} + a_m^{(m)} - A^{(m-1)})/2;$$
$$c_{m-1}^{(m-1)} = k_1^{(m-1)}(c_{m-1}^{(m)} + c_m^{(m)} - A^{(m-1)})/2; \qquad (5)$$
$$b_{im-1}^{(m-1)} = k_2{}^{(m-1)}(b_{im-1}^{(m)} + b_{im}^{(m)} - B^{(m-1)})/2,$$

где $k_1^{(m-1)} = 2c_{dr}/(c_{m-1}^{(m)} + c_m^{(m)} - A^{(m-1)})$;

$A^{(m-1)} = a_1{}^{(m)} + a_2{}^{(m)}$ ($c_{dr} = dr_{\max}$; $j=\overline{1,m}$, m – количество термов; a и c – абсциссы нижнего основания);

$$k_2^{(m-1)} = 2b_{dr}/(b_{2m-1}^{(m)} + b_{2m}^{(m)} - B^{(m-1)});$$

$B^{(m-1)} = b_{11}^{(m)} + b_{12}^{(m)}$ ($b_{dr} = dr_{\max}$; ($i=\overline{1,2}$) b_{1j} и b_{2j} – абсциссы верхнего основания трапеции).

С помощью этого метода после осуществления процесса трансформирования, посредством функции $FT^{-1}(\boldsymbol{Л П})$, получаем эквивалентную ЛП, отличающуюся от исходной количеством и значениями термов, но при этом сохраняется ее смысловое содержание, отражающее исходные суждения экспертов.

Покажем работу предложенного метода на конкретных примерах с различным типом распределения НЧ по оси dr.

Пример 1. Воспользуемся равномерно распределенными по оси dr НЧ, т.е. для которых будет истинным условие равномерности: $\Omega_p =$

$$\bigwedge_{j=1}^{m-1} (b_{2j}\text{-}b_{1j}=b_{2j+1}\text{-}b_{1j+1}) \quad \bigwedge_{j=1}^{m-2} (b_{1j+1}\text{-}b_{2j}=b_{1j+2}\text{-}b_{2j+1}), \quad (6)$$

где Ω_p – бинарная функция, принимающая значения 0 или 1 (при $\Omega_p=1$ – условие истинно, в противном случае $\Omega_p=0$ – ложно), а выражение со знаком «=» используется для выполнения проверки на равенство или приблизительное равенство двух разностей, если оно истинно, то выражение эквивалентно логической единице, в противном случае – нулю. Равномерное распределение НЧ характерно для эталонных значений ЛП, все термы которых отражают одинаковое предпочтение эксперта относительно оценочного параметра [4].

Например, пусть для данной ЛП при $m=5$ НЧ принимают следующие значения: T_{DR_1} = (0; 0; 11,11; 22,2)$_{LR}$; T_{DR_2} = (11,11; 22,2; 33,33; 44,44)$_{LR}$ и т.д. (все числовые данные для равномерно распределенных НЧ приведены в таблице 1). Проверим условие равномерности: $\Omega_p = (b_{21} - b_{11} = b_{22} - b_{12}) \wedge (b_{22} - b_{12} = b_{23} - b_{13}) \wedge (b_{23} – b_{13} = b_{24} - b_{14}) \wedge (b_{24} - b_{14} = b_{25} - b_{15}) \wedge (b_{12} - b_{21} = b_{13} - b_{22}) \wedge (b_{13} - b_{22} = b_{14} - b_{23}) \wedge (b_{14} - b_{23} = b_{15} - b_{24})$ = (11,11 - 0 = 33,33 - 22,22) Λ (33,33 - 22,22 = 55,55 - 44,44) Λ (55,55 - 44,44 = 77,77 - 66,66) Λ (77,77 - 66,66 = 99,99 - 88,88) Λ (22,22 - 11,11 = 44,44 - 33,33) Λ (44,44 - 33,33 = 66,66 - 55,55) Λ (66,66 - 55,55 = 88,88 - 77,77) = 1 Λ 1 Λ 1 Λ 1 Λ 1 Λ 1 Λ 1 = 1. Как видим условие равномерности истинно, значит НЧ ЛП $\boldsymbol{DR}^{(5)}$ соответствует равномерному распределению.

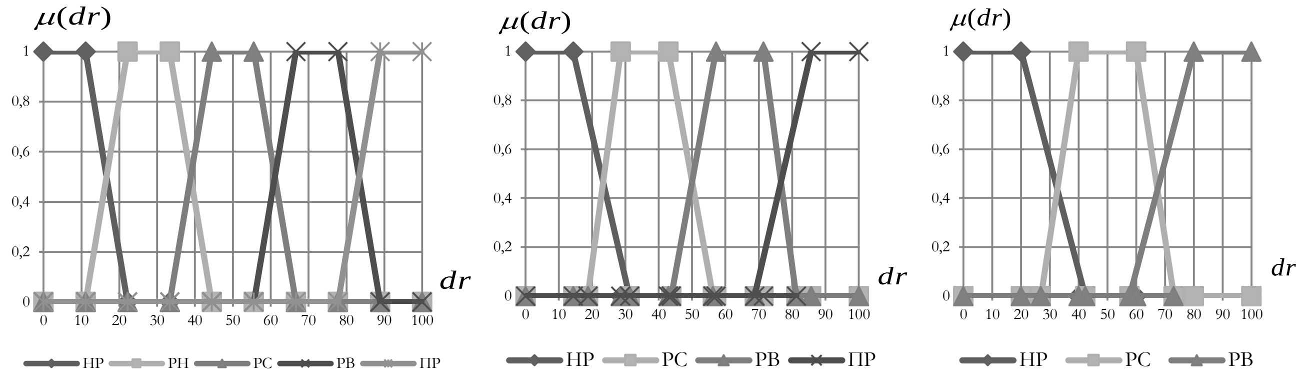
Далее выполним, в соответствие с выражениями (3)-(5), преобразование (2) т.е. $\boldsymbol{DR}^{(4)} = FT^{-1}(\boldsymbol{DR}^{(5)})$.

В результате трансформирования термов ЛП, получим, например, для $\boldsymbol{DR}^{(4)}$ следующие значения:

$T_{DR}^{(4)} = \bigcup_{j=1}^{4} T_{DR_j}$ = {«Незначительный риск нарушения ИБ» (НР), «Степень риска нарушения ИБ средняя» (РС), «Степень риска нарушения ИБ высокая» (РВ), «Предельный риск нарушения ИБ» (ПР)}, (7)

числовые эквиваленты, которых интерпретируются как: для T_{DR_1} – $A^{(4)} = a_1^{(5)} + a_2^{(5)}$ = 0 + 11,11 = 11,11; $k_1^{(4)}$ = 2 * 100 / ($c_4^{(5)} + c_5^{(5)} - A^{(4)}$) = 200 / (88,88 + 100 - 11,11) = 1,125; $a_1^{(4)} = k_1^{(4)}$ ($a_1^{(5)} + a_2^{(5)} - A^{(4)}$) / 2 = 1,125 (0 + 11,11 - 11,11) / 2 = 0; $c_1^{(4)} = k_1^{(4)}$ ($c_1^{(5)} + c_2^{(5)} - A^{(4)}$) / 2 = 1,125 (22,2 + 44,44 - 11,11) / 2 = 31,24; $B^{(4)} = b_{11}^{(5)} + b_{12}^{(5)}$ = 0 + 22,2 = 22,2; $k_2^{(4)} = 2b_{dr}$ / ($b_{24}^{(5)} + b_{25}^{(5)} - B^{(4)}$) = 2 * 100 / (177,77 - 22,2) = 1,29; $b_{11}^{(4)} = k_2^{(4)}$ ($b_{11}^{(5)} + b_{12}^{(5)} - B^{(4)}$) / 2 = 1,29 (0 + 22,2 - 22,2) / 2 = 0; $b_{21}^{(4)} = k_2^{(4)}$ ($b_{21}^{(5)} + b_{22}^{(5)} - B^{(4)}$) / 2 = 1,29 (11,11 + 33,33 - 22,2) /2 = 14,29; для T_{DR_2} – $a_2^{(4)} = k_1^{(4)}$ ($a_2^{(5)} + a_3^{(5)} - A^{(4)}$) / 2 = 1,125 (11,11 + 33,33 - 11,11) / 2 = 18,75; $c_2^{(4)} = k_1^{(4)}$ ($c_2^{(5)} + c_3^{(5)} - A^{(4)}$) / 2 = 1,125 (44,44 + 66,66 - 11,11) / 2 = 56,25; $b_{12}^{(4)} = k_2^{(4)}$ ($b_{12}^{(5)} + b_{13}^{(5)} - B^{(4)}$) / 2 = 1,29 (22,2 + 44,44 - 22,2) / 2 = 28,57; $b_{22}^{(4)} = k_2^{(4)}$ ($b_{22}^{(5)} + b_{23}^{(5)} - B^{(4)}$) / 2 = 1,29 (33,33 + 55,55 - 22,2) / 2 = 42,86, а для T_{DR_3} и T_{DR_4} числовые эквиваленты приведены в табл. 2.

Таким образом, для всех $T_{DR}^{(4)}$ получим значения T_{DR_1} = «НР» = $(a_1, b_{11}, b_{12}, c_1)_{LR}$ = $(0; 0; 14{,}3; 31{,}24)_{LR}$; …; T_{DR_4} = «ПР» = $(a_4, b_{41}, b_{42}, c_4)_{LR}$ = $(68{,}75; 85{,}71; 100; 100)_{LR}$ (см. табл. 2), соответствующая графическая интерпретация которых представлена на рис. 1, *б*.



а) *б)* *в)*

Рис. 1. Термы эталонных значений равномерно распределенных НЧ для ЛП ***DR***: *а)* $T_{DR}^{(5)}$; *б)* $T_{DR}^{(4)}$; *в)* $T_{DR}^{(3)}$

Таблица 2

Пример эталонных трапециевидных НЧ при m=4

*Тип распределения НЧ ЛП **DR***	НЧ $T_{DR\,j} = (a_j, b_{1j}, b_{2j}, c_j)_{LR}$ ($j=\overline{1,4}$)			
	T_{DR_1}	T_{DR_2}	T_{DR_3}	T_{DR_4}
Равномерное	*(0; 0; 14,29; 31,24)$_{LR}$*	*(18,75; 28,57; 42,86; 56,25)$_{LR}$*	*(43,75; 57,14; 71,43; 81,25)$_{LR}$*	*(68,75; 85,71; 100; 100)$_{LR}$*
Неравномерное	*(0; 0; 12,9; 25,81)$_{LR}$*	*(38,71; 38,71; 54,84; 54,84)$_{LR}$*	*(67,74; 67,74; 77,42; 77,42)$_{LR}$*	*(90,32; 91,61; 100; 100)$_{LR}$*
Возрастающее	*(0; 0; 6,45; 16,38)$_{LR}$*	*(8,47; 15,48; 27,1; 38,98)$_{LR}$*	*(26,55; 41,29; 58,06; 70,62)$_{LR}$*	*(53,67; 77,42; 100; 100)$_{LR}$*
Убывающее	*(0; 0; 22,58; 46,33)$_{LR}$*	*(29,38; 41,94; 58,71; 73,45)$_{LR}$*	*(61,02; 72,9; 84,52; 91,53)$_{LR}$*	*(83,62; 93,55; 100; 100)$_{LR}$*

Теперь вычислим условие равномерности для $T_{DR}^{(4)}$ (m=4): $\Omega_p =$(14,29 - 0 = 42,86 - 28,57) Λ (42,86 - 28,57 = 71,43 - 57,14) Λ (71,43 - 57,14 = 100 - 85,71) Λ (28,57 - 14,29 = 57,14 - 42,86) Λ (57,14 - 42,86 = 85,71 - 71,43) = 1. Как видим так же, как и при m=5 оно является истинно, что говорит об эквивалентности выполненных преобразований.

Далее аналогичным образом по выражениям (3)-(5) осуществим преобразование (2) при m=4 т.е. $\boldsymbol{DR}^{(3)} = FT^{-1}(\boldsymbol{DR}^{(4)})$ с использованием исходных значений НЧ из табл. 2. В процессе трансформирования термов получаем следующие значения:

$T_{DR}^{(3)} = \bigcup\limits_{j=1}^{3} T_{DR\,j} =$ {«Незначительный риск нарушения ИБ» (НР), «Степень риска нарушения ИБ средняя» (РС), «Степень риска нарушения ИБ высокая» (РВ)}, (8)

числовые эквиваленты, которых занесены в табл. 3, а пример вычислений T_{DR_1} и T_{DR_2} представим ниже, как:

для T_{DR_1} – $A^{(3)} = a_1^{(4)} + a_2^{(4)}$ = 18,75; $k_1^{(3)}$ = 2*100 / ($c_3^{(4)} + c_3^{(4)} - A^{(3)}$) = 1,23; $a_1^{(3)} = k_1^{(3)}$ ($a_1^{(4)} + a_2^{(4)} - A^{(3)}$) / 2 = 0; $c_1^{(3)} = k_1^{(3)}$ ($c_1^{(4)} + c_2^{(4)} - A^{(3)}$) / 2 = 42,30; $B^{(3)} = b_{11}^{(4)} + b_{12}^{(4)}$ = 28,57; $k_2^{(3)} = 2b_{dr}$ / ($b_{23}^{(4)} + b_{24}^{(4)} - B^{(3)}$) = 1,4; $b_{11}^{(3)} = k_2^{(4)}$ ($b_{11}^{(4)} + b_{12}^{(4)} - B^{(3)}$) / 2 = 0; $b_{21}^{(3)} = k_2^{(3)}$ ($b_{21}^{(4)} + b_{22}^{(4)} - B^{(3)}$) / 2 = 20;

для T_{DR_2} – $a_2^{(3)} = k_1^{(3)}$ ($a_2^{(4)} + a_3^{(4)} - A^{(3)}$) / 2 = 26,92; $c_2^{(3)} = k_1^{(3)}$ ($c_2^{(4)} + c_3^{(4)} - A^{(3)}$) / 2 = 73,08; $b_{12}^{(3)} = k_2^{(3)}$ ($b_{12}^{(4)} + b_{13}^{(4)} - B^{(3)}$) / 2 = 40; $b_{22}^{(3)} = k_2^{(3)}$ ($b_{22}^{(4)} + b_{23}^{(4)} - B^{(3)}$) / 2 = 60. Графическая интерпретация полученных эталонов НЧ приведена на рис. 1, *в*, а условие равномерности (2) при m=3 будет истинно, т.е. $\Omega_p = 1$.

Таблица 3

Пример эталонных трапециевидных НЧ при m=3

*Тип распределения НЧ ЛП **DR***	НЧ $T_{DR\,j} = (a_j, b_{1j}, b_{2j}, c_j)_{LR}$ ($j=\overline{1,3}$)		
	T_{DR_1}	T_{DR_2}	T_{DR_3}
Равномерное	*(0; 0; 20; 42,30)$_{LR}$*	*(26,92; 40; 60; 73,08)$_{LR}$*	*(57,69; 80; 100; 100)$_{LR}$*
Неравномерное	*(0; 0; 20,93; 30,23)$_{LR}$*	*(48,84; 48,84; 67,44; 67,44)$_{LR}$*	*(86,05; 86,98; 100; 100)$_{LR}$*
Возрастающее	*(0; 0; 12,67; 28,92)$_{LR}$*	*(16,38; 28,96; 48,87; 62,37)$_{LR}$*	*(44,25; 72,4; 100; 100)$_{LR}$*
Убывающее	*(0; 0; 27,6; 55,75)$_{LR}$*	*(37,63; 51,13; 71,04; 83,62)$_{LR}$*	*(71,08; 87,33; 100; 100)$_{LR}$*

Отметим, что для исходных и трансформированных значений термов ЛП $\boldsymbol{DR}^{(m)}$ $(m=\overline{3,5})$ условие равномерности Ω_p является истинным, что говорит об адекватности эквивалентных преобразований ЛП реализуемых предложенным методом (см. рис. 1, *а-в*).

Пример 2. Рассмотрим работу метода на примере неравномерно распределенных по оси dr НЧ, т.е. для которых будет истинным условие: $\Omega_н =$

$$\bigvee_{j=1}^{m-1} (b_{2j}\text{-}b_{1j} \neq b_{2j+1}\text{-}b_{1j+1}) + \bigvee_{j=1}^{m-2} (b_{1j+1}\text{-}b_{2j} \neq b_{1j+2}\text{-}b_{2j+1}), \quad (9)$$

где $\Omega_н$ – бинарная функция, принимающая значения 0 или 1 (при $\Omega_н=1$ – условие истинно, в противном случае $\Omega_н=0$ – ложно (см. табл. 1-3 и рис. 2, *а-в*)). Неравномерное распределение НЧ характерно для эталонных значений ЛП в которых хотя бы один терм отражает не одинаковое предпочтение эксперта относительно любого другого терма конкретного оценочного параметра.

Например, пусть для ЛП $\boldsymbol{DR}^{(m)}$ (1) при $m=5$ НЧ принимают значения из табл. 1 для неравномерно распределенных чисел. Проверим условие неравномерности: $\Omega_н = (b_{21} - b_{11} \neq b_{22} - b_{12}) \vee (b_{22} - b_{12} \neq b_{23} - b_{13}) \vee (b_{23} - b_{13} \neq b_{24} - b_{14}) \vee (b_{24} - b_{14} \neq b_{25} - b_{15}) + \vee (b_{12} - b_{21} \neq b_{13} - b_{22}) \vee (b_{13} - b_{22} \neq b_{14} - b_{23}) \vee (b_{14} - b_{23} \neq b_{15} - b_{24}) = (0 - 0 \neq 50 - 30) \vee (50 - 30 \neq 65 - 60) \vee (65 - 60 \neq 85 - 75) \vee (85 - 75 \neq 100 - 97) + \vee (30 - 0 \neq 60 - 50) \vee (60 - 50 = 75 - 65) \vee (75 - 65 \neq 97 - 85) = 1 \vee 1 \vee 1 \vee 1 + \vee 1 \vee 0 \vee 1 = 1$. Как видим условие неравномерности истинно, это говорит о соответствии НЧ ЛП $\boldsymbol{DR}^{(5)}$ такому типу распределения, как неравномерное.

Далее выполним, в соответствие с выражениями (3)-(5), преобразование (2) при $m=4$, с исходными значениями из табл. 1 для неравномерно распределенных НЧ. В результате трансформирования для $T_{DR}^{(4)}$ (см. (7)) получим значения термов, числовые эквиваленты которых интерпретируются как:

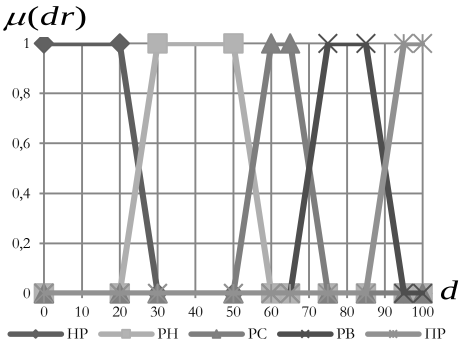
для T_{DR_1} – $A^{(4)} = 30$; $k_1^{(4)} = 1{,}29$; $a_1^{(4)} = 0$; $c_1^{(4)} = 25{,}8$; $B^{(4)} = 30$; $k_2^{(4)} = 1{,}29$; $b_{11}^{(4)} = 0$; $b_{21}^{(4)} = 12{,}9$;

для T_{DR_2} – $a_2^{(4)} = 38{,}71$; $c_2^{(4)} = 54{,}84$; $b_{12}^{(4)} = 38{,}71$; $b_{22}^{(4)} = 54{,}84$. Для T_{DR_3} и T_{DR_4} числовые эквиваленты приведены в табл. 2.

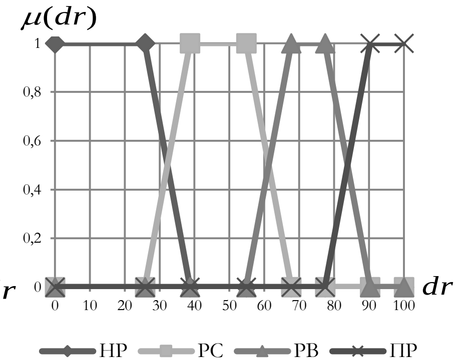
После проведенных преобразований по выражению (9) вычислим $\Omega_н$ для $T_{DR}^{(4)}$ ($m=4$): $\Omega_н = (12{,}9 - 0 \neq 54{,}84 - 38{,}71) \vee (54{,}84 - 38{,}71 \neq 77{,}42 - 67{,}74) \vee (77{,}42 - 67{,}74 \neq 100 - 91{,}61) + \vee (38{,}71 - 12{,}9 \neq 67{,}74 - 54{,}84) \vee (67{,}74 - 54{,}84 \neq 91{,}61 - 77{,}42) = 1$.

Условие неравномерности, также как и при $m=5$, является истинно, что говорит об эквивалентности выполненных преобразований.

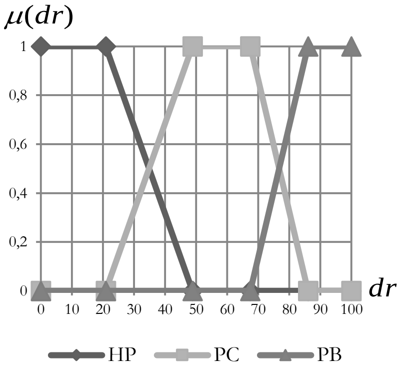
По аналогии согласно (2) осуществим преобразование неравномерно распределенных НЧ для $T_{DR}^{(3)}$ (m=3) (см. (8)) с исходными данными из табл. 2. В результате получим значения термов, числовые эквиваленты которые занесем в табл. 3.



а)



б)



в)

Рис. 2. Термы эталонных значений неравномерно распределенных НЧ для ЛП $\boldsymbol{DR}$:
а) $T_{DR}^{(5)}$; *б)* $T_{DR}^{(4)}$; *в)* $T_{DR}^{(3)}$

Пример вычислений T_{DR_1} и T_{DR_2} представим ниже:

T_{DR_1} – $A^{(3)}$ = 38,71; $k_1^{(3)}$ = 1,44; $a_1^{(3)}$ = 0; $c_1^{(3)}$ = 30,23; $B^{(3)}$ = 38,71; $k_2^{(3)}$ = 1,44; $b_{11}^{(3)}$ = 0; $b_{21}^{(3)}$ = 20,93;

T_{DR_2} – $a_2^{(3)}$ = 48,84; $c_2^{(3)}$ = 67,44; $b_{12}^{(3)}$ = 48,84; $b_{22}^{(3)}$ = 67,44.

Графический вид эталонных НЧ представлен на рис. 2, *в*, а условие неравномерности (9) при m=3 истинно, т.е. $\Omega_н = 1$.

При трансформировании ЛП $\boldsymbol{DR}^{(m)}$ с неравномерно распределенными эталонными НЧ, на всех этапах, прослеживается выполнение условия (9), что подтверждает адекватность эквивалентных преобразований ЛП, реализуемых предложенным методом (см. рис. 2, *а*-*в*).

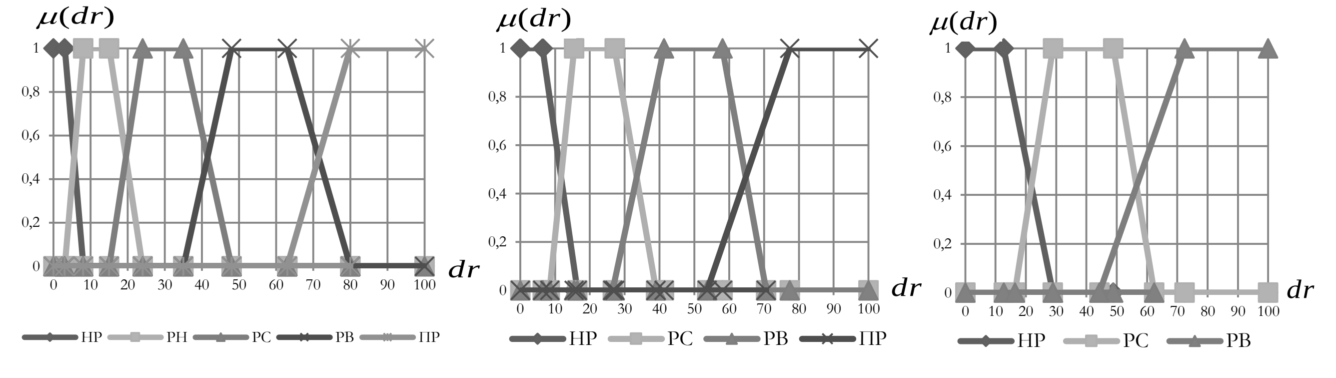
Пример 3. Покажем работу представленного метода для НЧ, которые имеют возрастающий тип распределения по оси dr, т.е. для которого истинным является условие:

$$\Omega_в = \bigwedge_{j=1}^{m-1} (b_{2j}-b_{1j}>b_{2j+1}-b_{1j+1}) \bigwedge_{j=1}^{m-2} (b_{1j+1}-b_{2j}>b_{1j+2}-b_{2j+1}), \quad (10)$$

где $\Omega_в$ – бинарная функция, принимающая значения 0 или 1 (при $\Omega_в$ =1 – условие истинно, в противном случае $\Omega_в$ =0 – ложно).

Пусть для ЛП $\boldsymbol{DR}^{(m)}$ при m=5 НЧ принимают значения из табл. 1 и имеют с возрастающий тип распределения чисел, что подтверждается вычислениями для проверки условия (10): $\Omega_в = (b_{21} - b_{11} > b_{22} - b_{12}) \wedge (b_{22} - b_{12} > b_{23} - b_{13}) \wedge (b_{23} - b_{13} > b_{24} - b_{14}) \wedge (b_{24} - b_{14} > b_{25} - b_{15}) \wedge (b_{12} - b_{21} > b_{13} - b_{22}) \wedge (b_{13} – b_{22} > b_{14} – b_{23}) \wedge (b_{14} - b_{23} > b_{15} - b_{24})$ = (3 - 0 > 15 - 8) $\wedge$ (15 - 8 > 35 - 24) $\wedge$ (35 - 24 > 63 - 48) $\wedge$ (63 - 48 > 100 - 80) $\wedge$ (8 - 3 > 24 - 15) $\wedge$ (24 - 15 > 48 - 35) $\wedge$ (48 - 35 > 80 - 63) = 1 $\wedge$ 1 $\wedge$ 1 $\wedge$ 1 $\wedge$ 1 $\wedge$ 1 $\wedge$ 1 = 1. Как видно, условие (10) истинно, что говорит о соответствии НЧ ЛП возрастающему типу распределения.

По аналогии с примером для равномерно распределенных НЧ произведем, в соответствии с выражениями (3)-(5), преобразования (2) при m=4 и m=3. Для этого воспользуемся исходными значениями НЧ с возрастающим типом распределения из табл. 1.



а) *б)* *в)*

Рис. 3. Термы эталонных значений с возрастающим распределением НЧ для ЛП **DR**: *а)* $T_{DR}^{(5)}$; *б)* $T_{DR}^{(4)}$; *в)* $T_{DR}^{(3)}$

В результате чего для $T_{DR}^{(4)}$ и $T_{DR}^{(3)}$ (см. (7) и (8)) получим значения термов, числовые эквиваленты которых занесены в таблицы 3, 4 (см. рис. 3, *а*-*в*) и интерпретируются для $T_{DR}^{(4)}$ как:

T_{DR_1} – $A^{(4)}$ = 3; $k_1^{(4)}$ = 1,13; $a_1^{(4)}$ = 0; $c_1^{(4)}$ = 16,38; $B^{(4)}$ = 8; $k_2^{(4)}$ = 1,29; $b_{11}^{(4)}$ = 0; $b_{21}^{(4)}$ = 6,45;

T_{DR_2} – $a_2^{(4)}$ = 8,45; $c_2^{(4)}$ = 38,98; $b_{12}^{(4)}$ = 15,48; $b_{22}^{(4)}$ = 27,1,

а для $T_{DR}^{(3)}$ как: T_{DR_1} – $A^{(3)}$ = 8,47; $k_1^{(3)}$ = 1,23; $a_1^{(3)}$ = 0; $c_1^{(3)}$ = 28,92; $B^{(3)}$ = 15,71; $k_2^{(3)}$ = 1,4; $b_{11}^{(3)}$ = 0;

T_{DR_2} – $a_2^{(3)}$ = 16,38; $c_2^{(3)}$ = 62,37; $b_{21}^{(3)}$ = 12,67; $b_{12}^{(3)}$ = 28,96; $b_{22}^{(3)}$ = 48,87.

Далее проверим условие возрастания (10) для $T_{DR}^{(4)}$ (m=4): $\Omega_в$ = (6,45 - 0 > 27,1 – 15,48) Λ (27,1 – 15,48 > 58,06 - 41,29) Λ (58,06 - 41,29 > 100 – 77,42) Λ (15,48 - 6,45 > 41,29 - 27,1) Λ (41,29 - 27,1 > 77,42 – 58,06) = 1 и для $T_{DR}^{(3)}$ (m=3) – $\Omega_в$ =1. Как видим, значения $\Omega_в$ является истинным, что говорит об адекватности выполняемых преобразований.

Пример 4. Реализуем трансформирование НЧ, которые имеют убывающий тип распределения по оси dr, т.е. для которых истинным является условие: Ω_y =

$$\bigwedge_{j=1}^{m-1}(b_{2j}-b_{1j}<b_{2j+1}-b_{1j+1}) \bigwedge_{j=1}^{m-2}(b_{1j+1}-b_{2j}<b_{1j+2}-b_{2j+1}), \quad (11)$$

где Ω_y – бинарная функция, принимающая значения 0 или 1 (при Ω_y =1 – условие истинно, в противном случае Ω_y =0 – ложно).

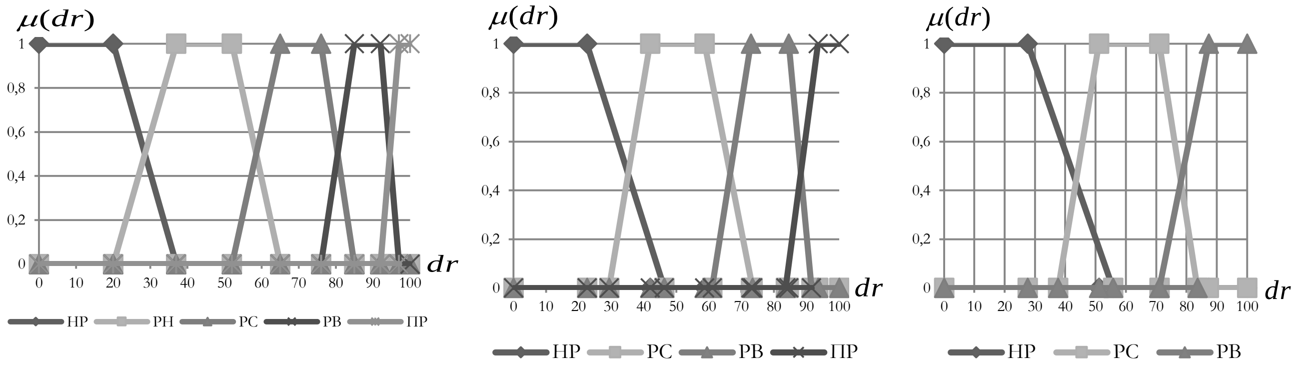
Например, пусть для данной ЛП (1) при m=5 НЧ принимают значения из табл. 1 и имеют убывающий тип распределения. Произведем для них проверку условия (11): Ω_y = (b_{21} - b_{11} < b_{22} - b_{12}) Λ (b_{22} - b_{12} < b_{23} - b_{13}) Λ (b_{23} - b_{13} < b_{24} – b_{14}) Λ (b_{24} - b_{14} < b_{25} - b_{15}) Λ (b_{12} - b_{21} < b_{13} - b_{22}) Λ (b_{13} - b_{22} < b_{14} - b_{23}) Λ (b_{14} - b_{23}< b_{15} - b_{24}) = (20 - 0 < 52 - 37) Λ (52 - 37 < 76 - 65) Λ (76 - 65 < 92 - 85) Λ (92 - 85< 100 - 97) Λ (37 - 20 < 65 - 52) Λ (65 - 52 < 85 - 76) Λ (85 - 76 < 97 - 92) = 1 Λ 1 Λ 1 Λ 1 Λ 1 Λ 1 Λ 1 = 1. Как видим условие (11) истинно, значит НЧ ЛП $\boldsymbol{DR}^{(5)}$ соответствует убывающему типу распределения.

Реализуем в соответствие с выражениями (3)-(5) преобразование (2) при m=4 и m=3 с исходными значениями для НЧ с убывающим типом распределения из табл. 1, 2 (см. рис. 4, *а-в*). В процессе трансформирования термов получим значения для $T_{DR}^{(4)}$ и $T_{DR}^{(3)}$ (см. (7) и (8)), числовые эквиваленты которых представлены в табл. 2 и 3 соответственно и интерпретируются для $T_{DR}^{(4)}$ как:

T_{DR_1} – $A^{(4)}$ = 20; $k_1^{(4)}$ = 1,13; $a_1^{(4)}$ = 0; $c_1^{(4)}$ = 46,33; $B^{(4)}$ = 37; $k_2^{(4)}$ = 1,29; $b_{11}^{(4)}$ = 0; $b_{21}^{(4)}$ = 22,58,

T_{DR_2} – $a_2^{(4)}$ = 29,38; $c_2^{(4)}$ = 73,45; $b_{12}^{(4)}$ = 41,94; $b_{22}^{(4)}$ = 58,71, а для $T_{DR}^{(3)}$ как: T_{DR_1} – $A^{(3)}$ = 29,38; $k_1^{(3)}$ = 1,23; $a_1^{(3)}$ = 0; $c_1^{(3)}$ = 55,75; $B^{(3)}$ = 41,94; $k_2^{(3)}$ = 1,4; $b_{11}^{(3)}$ = 0; $b_{21}^{(3)}$ = 27,6;

T_{DR_2} – $a_2^{(3)}$ = 37,63; $c_2^{(3)}$ = 83,62; $b_{12}^{(3)}$ = 51,13; $b_{22}^{(3)}$ = 71,04.



а) б) в)

Рис. 4. Эталоны значений для ЛП **DR** с убывающим распределением: *а)* $T_{DR}^{(5)}$; *б)* $T_{DR}^{(4)}$; *в)* $T_{DR}^{(3)}$

Проверим условие убывания (11) для $T_{DR}^{(4)}$ (m=4): Ω_y = (22,58 - 0 < 58,71 - 41,94) Λ (58,71 - 41,94 < 72,9 - 84,52) Λ (72,9 - 84,52 < 84,52 - 72,9) Λ (84,52 - 72,9 < 93,55 - 100) Λ (41,94 - 22.58 < 72,9 - 58,71) Λ (72,9 - 58,71 < 100 - 93,55) = 1 и для $T_{DR}^{(3)}$ (m=3) – Ω_y =1. Как видно значения Ω_y является истинным, что позволяет сделать вывод об адекватности преобразований.

Представленный метод позволяет осуществлять эквивалентное преобразование ЛП посредством создания эталонов параметров с возможностью варьирования числом термов трапециевидных НЧ и позволяет повысить гибкость разрабатываемых средств оценивания, которые основываются на логико-лингвистическом подходе. Для обработки других типов функции принадлежности НЧ, например, треугольных, необходимо провести соответствующие исследования.

ЛИТЕРАТУРА

[1]. Казмирчук С.В. Анализ и оценивание рисков информационных ресурсов / С.В. Казмирчук // Защита информации – 2013. – Том 15 №1 (58). – С. 37-46.

[2]. Казмирчук С.В. Анализа и оценивания рисков информационных ресурсов в нечетких условиях / С.В. Казмирчук // Защита информации – 2013. – Том 15 №2 (59). – С. 133-140.

[3]. Корченко А.Г. Анализ и оценивание рисков информационной безопасности. Монография. / А.Г. Корченко, А.Е. Архипов, С.В. Казмирчук – К. : ООО «Лазурит-Полиграф», 2013. – 275 с.

[4]. Корченко А.Г. Интегрированное представление параметров риска / А.Г. Корченко, Е.В. Иванченко, С.В. Казмирчук // Защита информации – 2011. – №1 (50). – С. 96 – 101.

[5]. Корченко А.Г. Методология синтеза систем анализа и оценки риска потерь информационных ресурсов / А.Г. Корченко, С.В. Казмирчук // Защита информации – 2012. – №2. – С. 24-28.

[6]. Корченко А.Г. Методы анализа и оценки рисков потерь государственных информационных ресурсов / А.Г. Корченко, В.П. Щербина, С.В. Казмирчук // Защита информации – 2012. – №1. – С. 126-139.

[7]. Корченко А.Г. Построение систем защиты информации на нечетких множествах. Теория и практические решения / А.Г. Корченко – К. : «МК-Пресс», 2006. – 320с.

[8]. Корченко О.Г. Системи захисту інформації. Монография. / О.Г. Корченко – К. : НАУ, 2004. – 264с.

REFERENCES

[1]. Kazmirchuk S.V. Risk analysis and assessment of information resources, Zahist ìnformacìï, 2013, VOL. 15 №1, pp. 31-38.

[2]. Kazmirchuk S.V. Risk analysis and assessment of information resources in fuzzy conditions, Zahist ìnformacìï, 2013, VOL. 15 №2, pp. 133-140.

[3]. Korchenko A.G., Kazmirchuk S.V., Arkhipov A. E. The analysis and assessment risks information security. Monograph, 2013, 275 p.

[4]. Korchenko A.G., Ivanchenko Ye.V., Kazmirchuk S.V. Integrated view of risk characteristic, Zahist ìnformacìï, 2011, №1 (50), pp. 96-101.

[5]. Korchenko A.G., Kazmirchuk S.V. The synthesis methodology of analysis systems and risk assessment of information resources losses, Zahist ìnformacìï, 2012, №2, pp. 24-28.

[6]. Korchenko A.G., Sherbina V.P., Kazmirchuk S.V. Risk analysis and assessment methods of government information resources losses, Zahist ìnformacìï, 2012, №1, pp. 126-139.

[7]. Korchenko A.G. The construction of security systems on the fuzzy sets. Theory and practical solutions, 2006, 320 p.

[8]. Korchenko A.G. Information security systems. Monograph, 2004, 264 p.

МЕТОД ТРАНСФОРМУВАННЯ ТЕРМІВ ЛІНГВІСТИЧНОЇ ЗМІННОЇ ПРИ ВИРІШЕННІ ЗАВДАНЬ АНАЛІЗУ І ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКІВ ІНФОРМАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ

Один з етапів побудови комплексної системи захисту інформації та системи менеджменту інформаційної безпеки, забезпечується реалізацією процесу аналізу та оцінювання ризиків. У відповідних системах, при оцінюванні в нечітких умовах для інтерпретації описів природної мови використовують лінгвістичні змінні з певною кількістю термів, які відображаються нечіткими числами. У практичному використанні зазначених систем виникають ситуації, при яких зручно для аналізу та оцінювання ризиків застосовувати еталони з можливістю варіювання кількістю термів. Для цього необхідно проводити перевизначення зазначених еталонів без участі експертів. Для вирішення такого завдання запропоновано метод, в основі якого закладена аналітична функція, яка дозволяє здійснювати трансформування (еквівалентне перетворення) більшої кількості термів лінгвістичних змінних в меншу. Такий підхід дозволить підвищити гнучкість розроблюваних засобів оцінювання, які ґрунтуються на логіко-лінгвістичному підході і використовують для опису лінгвістичних змінних трапецієподібні і трикутні нечіткі числа.

Ключові слова: ризик, аналіз ризиків, оцінювання ризиків, система аналізу і оцінювання ризиків, параметри ризику, лінгвістична змінна, нечітка змінна, еталонні значення, трансформування термів лінгвістичних змінних, еквівалентне перетворення термів лінгвістичних змінних.

THE METHOD OF TERMS TRANSFORMATION OF LINGUISTIC VARIABLES IN DECISION-MAKING ANALYSIS AND INFORMATION SECURITY RISK ASSESSMENT

One of the stages to develop a complex data protection system and Information Security Management System (ISMS) is provided by implementing the process of analysis and risk assessment. In relevant systems, when assessing the fuzzy conditions to interpret a natural language descriptions the linguistic variables with a certain number of terms that appear fuzzy numbers are used. In practical use of mentioned systems, there are situations when it is convenient for analysis and risk assessment, to apply standards with the ability to vary the number of terms. For this purpose the redefinition of the specified standards without participation of experts is necessary. A solution for this task is the offered method which provides an analytical function and enables to transform (the equivalent conversion) more terms of linguistic variables to less. Such approach will enhance the flexibility of developed assessment techniques based on the logical and linguistic approach and use to describe the linguistic variable the trapezoid and triangular fuzzy numbers.

Index Terms: risk, risk analysis, risk assessment, risk assessment and analysis, risk parameters, linguistic variable fuzzy variable, standard values, terms transformation of linguistic variables, equivalent terms transformation of linguistic variables.

Казмирчук Светлана Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры безопасности информационных технологий Национального авиационного университета.
E-mail: sv902@mail.ru
Казмірчук Світлана Володимирівна, кандидат технічних наук, доцент кафедри безпеки інформаційних технологій Національного авіаційного університету.
Kazmirchuk Svitlana PhD in Eng., Associate Professor of Academic Department of IT-Security, National Aviation University (Kyiv, Ukraine).