

МЕТОД n-КРАТНОГО ИНКРЕМЕНТИРОВАНИЯ ПОРЯДКА ЛИНГВИСТИЧЕСКИХ ПЕРЕМЕННЫХ НА ОСНОВЕ ЧАСТНОГО РАСШИРЕНИЯ БАЗЫ

Александр Корченко, Бахытжан Ахметов, Светлана Казмирчук, Майгуль Жекамбаева

В основу существующих систем анализа и оценивания рисков заложены методы, основывающиеся на обработке лингвистических переменных, базирующихся на эталонных параметрических трапециевидных нечетких числах с различным количеством определяющих термов, формирование которых связано с привлечением экспертов соответствующей предметной области. Эффективность практического использования такой системы зависит от ее возможностей обрабатывать различные типы нечетких чисел и от оперативности варьирования количеством термов без привлечения необходимых экспертов. Для решения такой задачи предлагается метод n-кратного инкрементирования порядка лингвистических переменных на основе второго частного расширения базы, который дает возможность формализовать процесс эквивалентного трансформирования числа термов лингвистической переменной на n порядков. Это позволит усовершенствовать соответствующую систему анализа и оценивания рисков информационной безопасности за счет упрощения процедуры корректировки эталонов, с помощью реализации процесса n-кратного инкрементирования числа термов для треугольных нечетких чисел.

Ключевые слова: *риск, анализ рисков, оценивание рисков, система анализа и оценивание рисков, нечеткая переменная, функция трансформирования термов лингвистических переменных, однократное инкрементирование, треугольные нечеткие числа.*

В работе [1] представлены средства анализа и оценивания рисков информационной безопасности (ИБ), которые основываются на нечеткой логике. Они используют лингвистические переменные (ЛП), базирующиеся на эталонных параметрических трапециевидных нечетких числах (НЧ) с фиксированным количеством термножеств, определенных экспертами на этапе инициализации базовых величин при настройке системы. В работе [2] был представлен метод n-кратного инкрементирования числа термов ЛП на основе первого частного расширения базы (для трапециевидных НЧ). Эффективность практического использования системы анализа и оценивания рисков зависит от ее возможностей обрабатывать другие типы НЧ, на основе которых осуществляется определение ЛП и от оперативности варьирования количеством термов без привлечения экспертов соответствующей предметной области. Расширить возможности указанных систем [1] можно путем использования дополнительного типа параметрических нечетких чисел – треугольных. В связи с этим актуальной является задача совершенствования работы систем анализа и оценивания рисков [1] посредством методов, позволяющих переопределять число термов (с различным типом НЧ) ЛП на n порядков.

Исходя из актуальности, целью данной работы, является разработка метода, который позволяет эквивалентно переопределять порядок (число термов) ЛП, базирующихся на эталонных параметрических треугольных НЧ с n-кратным инкрементированием при решении задач анализа и оценивания рисков ИБ. Это будет способствовать дальнейшему развитию указанных систем и расширит их возможности по средствам использования треугольных НЧ.

Для достижения поставленной цели осуществим соответствующие преобразования с помощью метода, в основе которого заложена аналитическая функция, позволяющая осуществлять n-кратное инкрементирование числа термов ЛП. Метод состоит из трех этапов, связанных с формированием, расширением и частным расширением базы [2]. Два первых этапа являются основой для n-кратного инкрементирования порядка с использованием любых типов НЧ. Совершенствование систем анализа и оценивания рисков связано с третьим этапом возможности расширения базы для треугольных чисел.

И так, если в формуле (8) из работы [2] приравняем $b_j = b_{j'} = b_{2j}$, $j = \overline{1, m}$, то получим другой тип параметрических НЧ – треугольные. В этом случае для таких чисел выражение (8) из [2] можем представить в виде:

$$DR^{(m+n)}((a_1, b_1, c_1), (a_2, b_2, c_2), \dots, (a_{m+n-1}, b_{m+n-1}, c_{m+n-1}), (a_{m+n}, b_{m+n}, c_{m+n})) = FT^{+n}(DR^{(m)}((a_1, b_1, c_1), (a_2, b_2, c_2), \dots, (a_{m-1}, b_{m-1}, c_{m-1}), (a_m, b_m, c_m))), \quad (1)$$

где a_j , c_j и b_j соответственно абсциссы нижнего и верхнего основания треугольника [3] (при $j = \overline{1, m}$).

По аналогии с [2] формулу (1) назовем вторым частным расширением базы.

Рассмотрим работу метода на конкретном примере, при этом положим в основу формулу (1), т.е. второе частное расширение базы. В качестве исходных данных, с учетом возможности дальнейшей верификации, будем использовать эталонные треугольные НЧ с равномерным, не-

равномерным, возрастающим и убывающим типом распределения при $m=3$ (см. табл. 1). Так как реализация функции $FT^{+1}(DR^{(m)})$ рассматривалась в [4], то осуществим соответствующие преобразования при $n = \overline{2,3}$.

Пусть $n=2$, тогда выражение (8) из [2] принимает вид:

$$DR^{(5)}((a_1, b_1, c_1), (a_2, b_2, c_2), (a_3, b_3, c_3), (a_4, b_4, c_4), (a_5, b_5, c_5)) = FT^{+1}(FT^{+1}(DR^{(3)}((a_1, b_1, c_1), (a_2, b_2, c_2), (a_3, b_3, c_3)))) \quad (2)$$

Поскольку вычислить обобщенную функцию достаточно сложно, реализуем такие преобразования в виде итераций. Для дальнейших преобра-

зований на основе заданной функции воспользуемся аналитическими выражениями (см. формулы (9, 10)) в работе [2].

Таблица 1

Пример эталонных треугольных НЧ при $m=3$

Тип распределения НЧ ЛП DR	НЧ $T_{DR_j}, j = \overline{1,3}$		
	T_{DR_1}	T_{DR_2}	T_{DR_3}
Равномерный	$(0; 0; 40)_{LR}$	$(20; 50; 80)_{LR}$	$(60; 100; 100)_{LR}$
Неравномерный	$(0; 0; 35)_{LR}$	$(18; 61; 85)_{LR}$	$(60; 100; 100)_{LR}$
Возрастающий	$(0; 0; 16)_{LR}$	$(3; 40; 65)_{LR}$	$(33; 100; 100)_{LR}$
Убывающий	$(0; 0; 51)_{LR}$	$(28; 70; 87)_{LR}$	$(71; 100; 100)_{LR}$

Пример 1 – равномерный тип распределения. Пусть ЛП $DR^{(3)}$ определяется термами из (9) в работе [2]. Для определения числовых значений $T_{DR_j}, j = \overline{1,3}$ воспользуемся данными из

табл. 1 с равномерным типом распределения НЧ, т.е. для которых будет истинным условие равномерности (см. (6) в [5]): $\Omega_p = (b_2 - b_1 = b_3 - b_2) = (50 - 0 = 100 - 50) = 1$. Как видно условие равномерности истинно ($\Omega_p = 1$), следовательно НЧ ЛП $DR^{(3)}$ соответствует равномерному типу распределения (см. рис. 1, а, б и табл. 1-3)).

табл. 1 с равномерным типом распределения НЧ, т.е. для которых будет истинным условие равно-

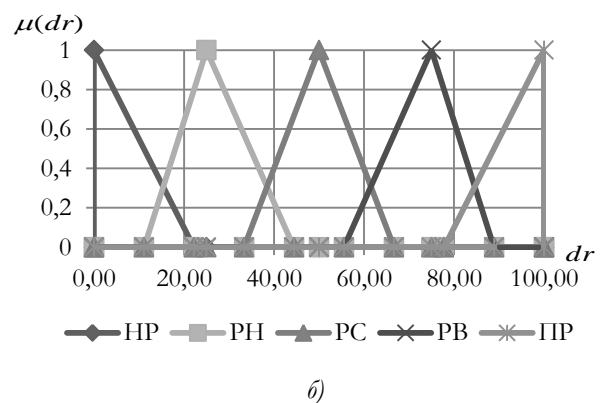
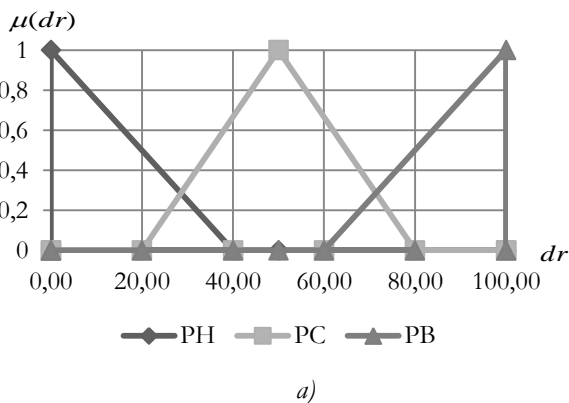


Рис. 1. Термы эталонных значений равномерно распределенных НЧ для ЛП DR : а) $T_{DR}^{(3)}$; б) $T_{DR}^{(5)}$

Для реализации функции (1) посредством выполнения необходимых этапов (см. [4]) осуществим n -кратное инкрементирование заданной в (1) ЛП $DR^{(3)}$ при $n=2$. Инкрементирование на 2-порядка будем осуществлять с помощью 2-кратной итерации.

Этап 1. Для определения корректирующих параметров воспользуемся выражениями (2) и (3) из [4]:

– первая итерация – $k_1^{(4)} = b_{dr} / 2 = 100 / 2 = 50$; $l_1^{(4)} = (a_2^{(3)} - a_1^{(3)} + a_3^{(3)} - c_1^{(3)} + c_3^{(3)} - c_2^{(3)}) / 3 = (20 - 0 + 60 - 40 + 100 - 80) / 3 = 20$; $l_2^{(4)} = (c_1^{(3)} - a_2^{(3)} + c_2^{(3)} - a_3^{(3)}) / 2 = (40 - 20 + 80 - 60) / 2 = 20$; $l^{(4)} = l_1^{(4)} + l_2^{(4)} = 20 + 20 = 40$;

– вторая итерация – $k_1^{(5)} = b_{dr} / 3 = 100/3 = 33,33$;
 $l_1^{(5)} = (a_2^{(4)} - a_1^{(4)} + a_3^{(4)} - c_1^{(4)} + a_4^{(4)} - c_2^{(4)} + c_4^{(4)} - c_3^{(4)}) / 4 =$
 $(14,29 - 0 + 42,86 - 28,57 + 71,43 - 57,14 + 100 -$
 $85,71) / 4 = 14,29$;
 $l_2^{(5)} = (c_1^{(4)} - a_2^{(4)} + c_2^{(4)} - a_3^{(4)} + c_3^{(4)} - a_4^{(4)}) / 3 = (28,57 -$
 $14,29 + 57,14 - 42,86 + 85,71 - 71,43) / 3 = 14,29$;
 $l^{(5)} = l_1^{(5)} + l_2^{(5)} = 14,29 + 14,29 = 28,57$.

Этап 2. Определение номера расширяющей вершины осуществим с помощью (4) из [4], т.е.:

– первая итерация – $x_1 = b_2^{(3)} - b_1^{(3)} = 50 - 0 = 50$, $x_2 = b_3^{(3)} - b_2^{(3)} = 100 - 50 = 50$. Как видно $s=1+1=2$ при $(x_2 \geq k_1^{(4)} \geq x_1) \Rightarrow (50 \geq 50 \geq 50)$ или $(x_2 \leq k_1^{(4)} \leq x_1) \Rightarrow (50 \leq 50 \leq 50)$. Поскольку тип распределения НЧ равномерный, то расширяющих вершин будет несколько и таким образом, в качестве s можно использовать любую из j ($j = \overline{1,2}$). Исходя из этого, например, встраивание дополнительного терма осуществим после второй вершины, т.е. между вторым и третьим термом $T_{DR}^{(3)}$;

– вторая итерация – $x_1 = b_2^{(4)} - b_1^{(4)} = 33,33 - 0 = 33,33$; $x_2 = b_3^{(4)} - b_2^{(4)} = 66,66 - 33,33 = 33,33$;
 $x_3 = b_4^{(4)} - b_3^{(4)} = 99,99 - 66,66 = 33,33$. Как видно: $s=1+1=2$ при $(x_2 \geq k_1^{(5)} \geq x_1) \Rightarrow (33,33 \geq 33,33 \geq 33,33)$; $s=2+1=3$ при $(x_3 \geq k_1^{(5)} \geq x_2) \Rightarrow (33,33 \geq 33,33 \geq 33,33)$, и т.д. По аналогии с первой итерацией в качестве s можно использовать любую из j ($j = \overline{1,4}$). Исходя из этого, например, встраивание дополнительного терма осуществим после второй вершины, т.е. между вторым и третьим термом $T_{DR}^{(4)}$.

Этап 3. Используя выражения (5) и (6) из [4], вычислим значения абсцисс верхнего и нижнего основания треугольных НЧ т.е.:

– первая итерация – $b_1^{(4)'} = b_1^{(3)} = 0$ при $1 < 2$;
 $b_2^{(4)'} = b_2^{(3)} = 50$ при $2 = 2$; $b_3^{(4)'} = b_2^{(3)} + k_1^{(4)} = 50 +$
 $50 = 100$ при $3 > 2$; $b_4^{(4)'} = b_3^{(3)} + k_1^{(4)} = 100 + 50 =$
 150 при $4 > 2$.

Аналогично вычислим абсциссы нижнего основания, т.е.: $a_1^{(4)'} = a_1^{(3)} = 0$ при $1 < 4$; $a_2^{(4)'} = a_2^{(3)} =$
 20 при $2 < 4$; $c_1^{(4)'} = c_1^{(3)} = 40$ при $1 < 2$; $a_3^{(4)'} = a_3^{(3)} =$

60 при $3 < 4$; $c_2^{(4)'} = a_3^{(3)} + l_2^{(4)} = 60 + 20 = 80$ при $2 =$
 2 ; $a_4^{(4)'} = c_2^{(4)'} + l_1^{(4)} = 80 + 20 = 100$ при $4 = 4$;
 $c_3^{(4)'} = c_2^{(3)} + l^{(4)} = 80 + 40 = 120$ при $3 > 2$;
 $c_4^{(4)'} = c_3^{(3)} + l^{(4)} = 100 + 40 = 140$ при $4 > 2$,

– вторая итерация – $b_1^{(5)'} = b_1^{(4)} = 0$ при $1 <$
 2 ; $b_2^{(5)'} = b_2^{(4)} = 33,33$ при $2 = 2$; $b_3^{(5)'} = b_2^{(4)} + k_1^{(5)} =$
 $33,33 + 33,33 = 66,66$ при $3 > 2$; $b_4^{(5)'} = b_3^{(4)} + k_1^{(5)} =$
 $66,66 + 33,33 = 99,99$ при $4 > 2$; $b_5^{(5)'} = b_4^{(4)} + k_1^{(5)} =$
 $99,99 + 33,33 = 133,32$ при $5 > 2$.

Аналогично вычислим абсциссы нижнего основания, т.е.: $a_1^{(5)'} = a_1^{(4)} = 0$ при $1 < 4$; $a_2^{(5)'} = a_2^{(4)} =$
 $14,29$ при $2 < 4$; $c_1^{(5)'} = c_1^{(4)} = 28,57$ при $1 < 2$;
 $a_3^{(5)'} = a_3^{(4)} = 42,86$ при $3 < 4$; $c_2^{(5)'} = a_3^{(4)} + l_2^{(5)} =$
 $42,86 + 14,29 = 57,14$ при $2 = 2$; $a_4^{(5)'} = c_2^{(4)} + l_1^{(5)} =$
 $57,14 + 14,29 = 71,43$ при $4 = 4$; $c_3^{(5)'} = c_2^{(4)} + l^{(5)} =$
 $57,14 + 28,57 = 85,71$ при $3 > 2$; $a_5^{(5)'} = a_4^{(4)} + l^{(5)} =$
 $71,43 + 28,57 = 100$ при $5 > 4$; $c_4^{(5)'} = c_3^{(4)} + l^{(5)} =$
 $85,71 + 28,57 = 114,29$ при $4 > 2$; $c_5^{(5)'} = c_4^{(4)} + l^{(5)} =$
 $100 + 28,57 = 128,57$ при $5 > 2$.

Этап 4. С помощью выражений (7)-(10) в [4], на основе двухшаговой последовательности (при $b_{dr} = c_{dr} = 100$) осуществим нормирование полученных эталонных значений.

– первая итерация:

Шаг 1. Вычисляем нормирующие коэффициенты по выражениям (7) и (8) из [4]:
 $k^{(4)} = b_{dr} / b_4^{(4)'} = 100/150 = 0,67$; $l_3^{(4)} = c_{dr} / c_4^{(4)'} =$
 $100/140 = 0,71$.

Шаг 2. Нормируем полученные на этапе 3 эталонные значения с помощью выражений (9) и (10) из [4]: $b_1^{(4)} = b_1^{(4)'} \times k^{(4)} = 0 \times 0,67 = 0$; $b_2^{(4)} = b_2^{(4)'} \times k^{(4)} =$
 $50 \times 0,67 = 33,33$; $b_3^{(4)} = b_3^{(4)'} \times k^{(4)} = 100 \times 0,67 = 66,66$;
 $b_4^{(4)} = b_4^{(4)'} \times k^{(4)} = 150 \times 0,67 = 100$, $a_1^{(4)} = a_1^{(4)'} \times l_3^{(4)} = 0 \times$
 $0,71 = 0$; $a_2^{(4)} = a_2^{(4)'} \times l_3^{(4)} = 20 \times 0,71 = 14,29$;
 $a_3^{(4)} = a_3^{(4)'} \times l_3^{(4)} = 42,86 \times 0,71 = 30,43$; $a_4^{(4)} = a_4^{(4)'} \times l_3^{(4)} =$
 $71,43 \times 0,71 = 50,71$; $c_1^{(4)} = c_1^{(4)'} \times l_3^{(4)} = 40 \times 0,71 =$
 $28,57$; $c_2^{(4)} = c_2^{(4)'} \times l_3^{(4)} = 80 \times 0,71 = 56,80$;

$$c_3^{(4)} = c_3^{(4')} \times l_3^{(4)} = 120 \times 0,71 = 85,71;$$

$$c_4^{(4)} = c_4^{(4')} \times l_3^{(4)} = 140 \times 0,71 = 100.$$

– вторая итерация:

Шаг 1. Вычисляем нормирующие коэффициенты по выражениям (7) и (8) в [4]:
 $k^{(5)} = b_{dr} / b_5^{(5')} = 100/133,33 = 0,75$, $l_3^{(5)} = c_{dr} / c_5^{(5')} = 100/128,57 = 0,78$.

Шаг 2. Нормируем полученные на этапе 3 эталонные значения с помощью выражений (9) и (10) из [4]:
 $b_1^{(5)} = b_1^{(5')} \times k^{(5)} = 0 \times 0,75 = 0$;
 $b_2^{(5)} = b_2^{(5')} \times k^{(5)} = 33,33 \times 0,75 = 25$;
 $b_3^{(5)} = b_3^{(5')} \times k^{(5)} = 66,66 \times 0,75 = 50$;
 $b_4^{(5)} = b_4^{(5')} \times k^{(5)} = 99,99 \times 0,75 = 75$;
 $b_5^{(5)} = b_5^{(5')} \times k^{(5)} = 133,32 \times 0,75 = 100$;
 $a_1^{(5)} = a_1^{(5')} \times l_3^{(5)} = 0 \times 0,78 = 0$; $a_2^{(5)} = a_2^{(5')} \times l_3^{(5)} =$

$$14,29 \times 0,78 = 11,11$$
; $a_3^{(5)} = a_3^{(5')} \times l_3^{(5)} = 42,86 \times 0,78 = 33,33$;
 $a_4^{(5)} = a_4^{(5')} \times l_3^{(5)} = 71,43 \times 0,78 = 55,55$;
 $a_5^{(5)} = a_5^{(5')} \times l_3^{(5)} = 104,16 \times 0,78 = 77,77$;
 $c_1^{(5)} = c_1^{(5')} \times l_3^{(5)} = 28,57 \times 0,78 = 22,22$;
 $c_2^{(5)} = c_2^{(5')} \times l_3^{(5)} = 57,14 \times 0,78 = 44,44$;
 $c_3^{(5)} = c_3^{(5')} \times l_3^{(5)} = 85,71 \times 0,78 = 66,66$;
 $c_4^{(5)} = c_4^{(5')} \times l_3^{(5)} = 114,29 \times 0,78 = 88,88$;
 $c_5^{(5)} = c_5^{(5')} \times l_3^{(5)} = 128,57 \times 0,78 = 100$.

В результате трансформирования термов ЛП получим, например, для $T_{DR}^{(5)}$ лингвистические значения из (10) в [2] с соответствующими числовыми эквивалентами, значения которых определены на шаге 2 этапа 4 и занесены в таблицу 2.

Таблица 2

Инкрементированные эталонные треугольные НЧ

Тип распределения НЧ ЛП DR	НЧ $T_{DR_j} = (a_j, b_j, c_j)_{LR} (j = \overline{1,5})$				
	T_{DR_1}	T_{DR_2}	T_{DR_3}	T_{DR_4}	T_{DR_5}
Равномерный	$(0; 0; 22,22)_{LR}$	$(11,11; 25; 44,44)_{LR}$	$(33,34; 50; 66,66)_{LR}$	$(55,55; 75; 88,88)_{LR}$	$(77,77; 100; 100)_{LR}$
Неравномерный	$(0; 0; 19,37)_{LR}$	$(9,96; 30,5; 44,83)_{LR}$	$(33,21; 55,5; 67,16)_{LR}$	$(55,54; 80,5; 91,7)_{LR}$	$(77,86; 100; 100)_{LR}$
Возрастающий	$(0; 0; 8,81)_{LR}$	$(1,65; 20; 30,55)_{LR}$	$(18,17; 45; 53,03)_{LR}$	$(40,64; 70; 80,73)_{LR}$	$(63,12; 100; 100)_{LR}$
Убывающий	$(0; 0; 28,39)_{LR}$	$(15,58; 35; 50,37)_{LR}$	$(39,52; 60; 72,54)_{LR}$	$(61,69; 85; 92,76)_{LR}$	$(83,86; 100; 100)_{LR}$

Далее вычислим условие равномерности для $T_{DR}^{(5)}$ (6) из [5]: $\Omega_p = (25 - 0 = 50 - 25) \wedge (50 - 25 = 75 - 50) \wedge (75 - 50 = 100 - 75) = 1$.

Как видим $T_{DR}^{(5)}$ также, как и $T_{DR}^{(3)}$ имеет $\Omega_p = 1$, что говорит об эквивалентности выполненных преобразований. Графическая интерпретация исходных и преобразованных эталонов равномерно распределенных НЧ $T_{DR}^{(3)}$ и $T_{DR}^{(5)}$ приведена на рис. 1 (а, б).

Пример 2 – неравномерный тип распределения. Пусть ЛП $DR^{(3)}$ также, как и в примере 1, определяется термами из (9) в [2]. Рассмотрим работу метода на примере неравномерно распределенных по оси dr НЧ с их числовыми эквивалентами T_{DR_j} , $j = \overline{1,3}$ из табл. 1, т.е. для которых будет истинным условие неравномерности (см. (7) в

[5]): $\Omega_n = (b_2 - b_1 \neq b_3 - b_2) = (61 - 0 \neq 100 - 61) = 1$. Как видим условие неравномерности истинно ($\Omega_n = 1$). Это говорит о соответствии НЧ ЛП $DR^{(3)}$ такому типу распределения, как неравномерный.

Далее выполним, в соответствие с этапами 1-4 из [2], n -кратное инкрементирование ЛП $DR^{(3)}$ по выражению (1).

Этап 1. Реализуем поиск корректирующих параметров по выражениям (2) и (3) из [4] т.е.:

– первая итерация – $k_1^{(4)} = 50$, $l_1^{(4)} = 19,33$,
 $l_2^{(4)} = 21$, $l^{(4)} = 40,33$;

– вторая итерация – $k_1^{(5)} = 33,33$, $l_1^{(5)} = 13,78$, $l_2^{(5)} = 14,96$, $l^{(5)} = 28,74$.

Этап 2. Здесь осуществим определение номера расширяющей вершины по формуле (4) из [4], т.е.:

– первая итерация – $x_1 = 61$, $x_2 = 39$, тогда $s=2$ при $(x_2 \leq k_1^{(4)} \leq x_1) \Rightarrow (39 \leq 50 \leq 61)$. В этом примере встраивание дополнительного терма

будем осуществлять после второй вершины, т.е. между вторым и третьим термом $T_{DR}^{(3)}$;

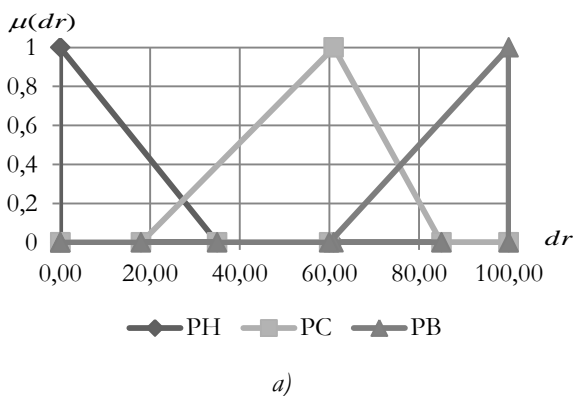
– вторая итерация – $x_1 = 33,33$, $x_2 = 40,67$, $x_3 = 26$, тогда $s=2$ при $(x_2 \geq k_1^{(5)} \geq x_1) \Rightarrow (40,67 \geq 33,33 \geq 33,33)$. Здесь встраивание дополнительного терма будем осуществлять также после второй вершины, т.е. между вторым и третьим термом $T_{DR}^{(4)}$.

Этап 3. Реализуем вычисление значений абсцисс верхнего и нижнего основания треугольных НЧ с помощью выражений (5) и (6) из [4], т.е.:

– первая итерация – $b_1^{(4)'} = b_1^{(3)} = 0$;
 $b_2^{(4)'} = b_2^{(3)} = 61$; $b_3^{(4)'} = b_2^{(3)} + k_1^{(4)} = 111$;
 $b_4^{(4)'} = b_3^{(4)'} + k_1^{(4)} = 150$,
 $a_1^{(4)'} = a_1^{(3)} = 0$; $a_2^{(4)'} = a_2^{(3)} = 18$; $a_3^{(4)'} = a_3^{(3)} = 60$;
 $a_4^{(4)'} = c_2^{(4)'} + l_1^{(4)} = 100,33$; $c_1^{(4)'} = c_1^{(3)} = 35$;
 $c_2^{(4)'} = a_3^{(3)} + l_2^{(4)} = 81$; $c_3^{(4)'} = c_2^{(3)} + l^{(4)} = 125,33$;
 $c_4^{(4)'} = c_3^{(3)} + l^{(4)} = 140,33$;

– вторая итерация – $b_1^{(5)'} = b_1^{(4)} = 0$; $b_2^{(5)'} = b_2^{(4)} = 40,67$;
 $b_3^{(5)'} = b_2^{(4)} + k_1^{(5)} = 74$; $b_4^{(5)'} = b_3^{(5)'} + k_1^{(5)} = 107,33$;
 $b_5^{(5)'} = b_4^{(4)} + k_1^{(5)} = 133,33$,

$a_1^{(5)'} = a_1^{(4)} = 0$; $a_2^{(5)'} = a_2^{(4)} = 12,83$; $a_3^{(5)'} = a_3^{(4)} = 42,76$;
 $a_4^{(5)'} = c_2^{(5)'} + l_1^{(5)} = 71,50$; $a_5^{(5)'} = a_4^{(4)} + l^{(5)} = 100,24$;
 $c_1^{(5)'} = c_1^{(4)} = 24,94$; $c_2^{(5)'} = a_3^{(4)} + l_2^{(5)} = 57,72$;
 $c_3^{(5)'} = c_2^{(4)} + l^{(5)} = 86,46$; $c_4^{(5)'} = c_3^{(4)} + l^{(5)} = 118,05$;
 $c_5^{(5)'} = c_4^{(4)} + l^{(5)} = 128,74$.



Этап 4. С помощью выражений (7)-(10) из [4] в 2 шага осуществим нормирование полученных значений.

Шаг 1. Находим нормирующие коэффициенты с помощью формул (7) и (8) [4]:

– первая итерация – $k^{(4)} = 0,67$, $l_3^{(4)} = 0,71$;
 – вторая итерация – $k^{(5)} = 0,75$, $l_3^{(5)} = 0,78$.

Шаг 2. Реализуем нормирование полученных эталонов согласно выражениям (9) и (10) из [4], т.е.:

– первая итерация – $b_1^{(4)} = 0$, $b_2^{(4)} = 40,67$,
 $b_3^{(4)} = 74$, $b_4^{(4)} = 100$,
 $a_1^{(4)} = 0$, $a_2^{(4)} = 12,83$, $a_3^{(4)} = 42,76$, $a_4^{(4)} = 71,5$,
 $c_1^{(4)} = 24,94$, $c_2^{(4)} = 57,72$, $c_3^{(4)} = 89,31$, $c_4^{(4)} = 100$,
 – вторая итерация – $b_1^{(4)} = 0$, $b_2^{(4)} = 30,5$,
 $b_3^{(4)} = 55,5$, $b_4^{(4)} = 80,5$, $b_5^{(4)} = 100$,
 $a_1^{(5)} = 0$, $a_2^{(5)} = 9,96$, $a_3^{(5)} = 33,21$, $a_4^{(5)} = 55,54$,
 $a_5^{(5)} = 77,86$, $c_1^{(5)} = 19,37$, $c_2^{(5)} = 44,83$,
 $c_3^{(5)} = 67,16$, $c_4^{(5)} = 91,7$, $c_5^{(5)} = 100$.

В результате инкрементирования получим, например, для $T_{DR}^{(5)}$ значения термов (10) из [2], а их числовые эквиваленты отобразим в табл. 2.

После проведенных преобразований вычислим Ω_H для $T_{DR}^{(5)}$: $\Omega_H = (30,5 - 0 \neq 55,5 - 30,5) \vee (55,5 - 30,5 = 80,5 - 55,5) \vee (80,5 - 55,5 \neq 100 - 80,5) = 1$. Условие неравномерности $T_{DR}^{(5)}$ так же,

как и $T_{DR}^{(3)}$ является истинно $\Omega_H = 1$, что говорит об эквивалентности выполненных преобразований.

Графическая интерпретация исходных и преобразованных эталонов неравномерно распределенных НЧ $T_{DR}^{(3)}$ и $T_{DR}^{(5)}$ приведена на рис. 2 (а, б).

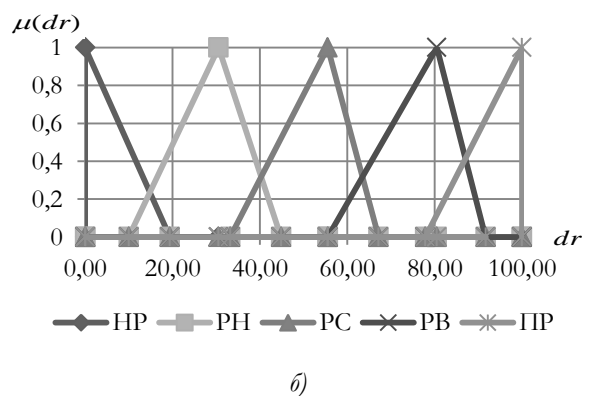


Рис. 2. Термы эталонных значений неравномерно распределенных НЧ для ЛП DR: а) $T_{DR}^{(3)}$; б) $T_{DR}^{(5)}$

Пример 3 – возрастающий тип распределения. Покажем работу представленного метода для ЛП $DR^{(3)}$ с термами из (9) (см [2]), числовые значения которых T_{DR_j} , $j = \overline{1,3}$ из табл. 1 имеют

возрастающий тип распределения по оси dr , т.е. для которого истинным является условие возрастания (см. (8) в [5]): $\Omega_e = (b_2 - b_1 < b_3 - b_2) = (40 - 0 < 100 - 40) = 1$. Как видно, условие $\Omega_e = 1$ истинно, что говорит о соответствии НЧ ЛП $DR^{(3)}$ возрастающему типу распределения.

По аналогии с примером для равномерно распределенных НЧ произведем, в соответствии с этапами 1-4 из [2] преобразования (1).

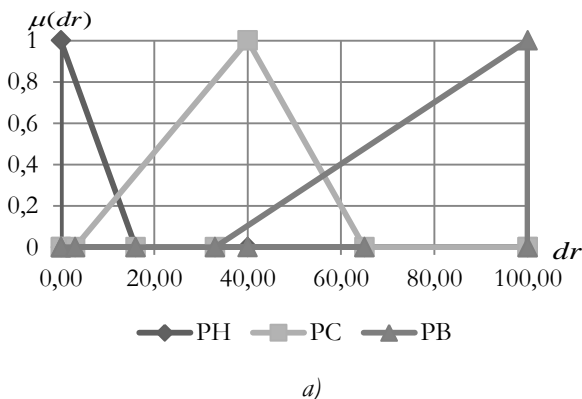
Этап 1. Реализуем поиск корректирующих параметров по выражениям (3) и (4) из [4] т.е.:

- первая итерация – $k_1^{(4)} = 50$, $l_1^{(4)} = 18,33$, $l_2^{(4)} = 22,5$, $l^{(4)} = 40,83$;
- вторая итерация – $k_1^{(5)} = 33,33$, $l_1^{(5)} = 13,02$, $l_2^{(5)} = 15,98$, $l^{(5)} = 28,99$.

Этап 2. Теперь определим номер расширяющей вершины по формуле (4) из [4], т.е.:

- первая итерация – $x_1 = 40$, $x_2 = 60$, тогда $s=2$ при $(x_2 \geq k_1^{(4)} \geq x_1) \Rightarrow (60 \geq 50 \geq 40)$. Здесь встраивание дополнительного терма будем осуществлять после второй вершины, т.е. между вторым и третьим термом $T_{DR}^{(3)}$;
- вторая итерация – $x_1 = 26,67$, $x_2 = 33,33$, $x_3 = 40$, тогда $s=2$ при $(x_2 \geq k_1^{(5)} \geq x_1) \Rightarrow (33,33 \geq 33,33 \geq 26,67)$. Здесь встраивание дополнительного терма будем осуществлять после второй вершины, т.е. между вторым и третьим термом $T_{DR}^{(4)}$.

Этап 3. С помощью выражений (5) и (6) в [4] реализуем вычисление значений абсцисс верхнего и нижнего основания треугольных НЧ, т.е.:



- первая итерация – $b_1^{(4)'} = 0$; $b_2^{(4)'} = 40$;
 $b_3^{(4)'} = 90$; $b_4^{(4)'} = 150$,
 $a_1^{(4)'} = 0$; $a_2^{(4)'} = 3$; $a_3^{(4)'} = 33$; $a_4^{(4)'} = 73,83$;
 $c_1^{(4)'} = 16$; $c_2^{(4)'} = 55,5$; $c_3^{(4)'} = 105,83$; $c_4^{(4)'} = 140,83$;
- вторая итерация – $b_1^{(5)'} = 0$; $b_2^{(5)'} = 26,67$;
 $b_3^{(5)'} = 60$; $b_4^{(5)'} = 93,33$; $b_5^{(5)'} = 133,33$,
 $a_1^{(5)'} = 0$; $a_2^{(5)'} = 2,13$; $a_3^{(5)'} = 23,43$; $a_4^{(5)'} = 52,43$;
 $a_5^{(5)'} = 81,42$; $c_1^{(5)'} = 11,36$; $c_2^{(5)'} = 39,41$;
 $c_3^{(5)'} = 68,4$; $c_4^{(5)'} = 104,14$; $c_5^{(5)'} = 128,99$.

Этап 4. Далее нормируем полученные результаты с помощью выражений (7)-(10) из [4] в два шага.

Шаг 1. Вычисляем нормирующие коэффициенты (см. (7) и (8) в [4]):

- первая итерация – $k^{(4)} = 0,67$, $l_3^{(4)} = 0,71$;
- вторая итерация – $k^{(5)} = 0,75$, $l_3^{(5)} = 0,78$.

Шаг 2. Нормируем полученные на этапе 3 эталоны (см. (9) и (10) в [4]):

- первая итерация – $b_1^{(4)} = 0$; $b_2^{(4)} = 26,67$;
 $b_3^{(4)} = 60$; $b_4^{(4)} = 100$,
 $a_1^{(4)} = 0$; $a_2^{(4)} = 2,13$; $a_3^{(4)} = 23,43$; $a_4^{(4)} = 52,43$;
 $c_1^{(4)} = 11,36$; $c_2^{(4)} = 39,41$; $c_3^{(4)} = 75,15$; $c_4^{(4)} = 100$;
- вторая итерация – $b_1^{(5)} = 0$; $b_2^{(5)} = 20$;
 $b_3^{(5)} = 45$; $b_4^{(5)} = 70$; $b_5^{(5)} = 100$,
 $a_1^{(5)} = 0$; $a_2^{(5)} = 1,65$; $a_3^{(5)} = 18,17$; $a_4^{(5)} = 40,64$;
 $a_5^{(5)} = 63,12$; $c_1^{(5)} = 8,81$; $c_2^{(5)} = 30,55$; $c_3^{(5)} = 53,03$;
 $c_4^{(5)} = 80,73$; $c_5^{(5)} = 100$.

Для $T_{DR}^{(5)}$ (см. (10) [2]) получим значения термов, числовые эквиваленты которых занесены в таблицу 2 (см. рис. 3 а, б).

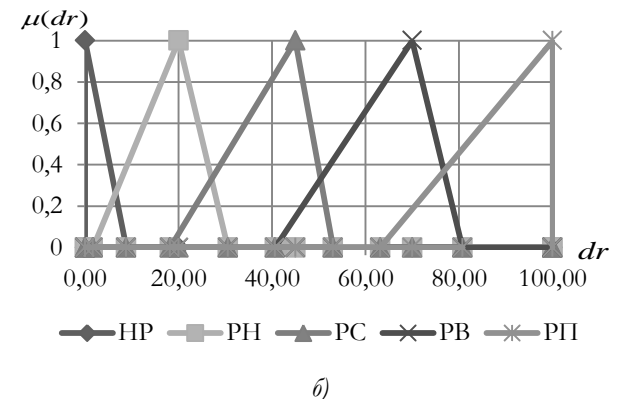


Рис. 3. Термы эталонных значений с возрастающим типом распределения НЧ для ЛП DR : а) $T_{DR}^{(3)}$; б) $T_{DR}^{(5)}$

Далее проверим условие возрастания для $T_{DR}^{(5)}$. Процесс n-кратного инкрементирования

подразумевает добавление дополнительных термов и формирование их на тех суждениях экспертов, которые уже существуют, поэтому значения дополнительных термов могут совпадать, следовательно, необходимо сформировать частный случай условия возрастания, т.е.: $\Omega_g = \bigwedge_{j=1}^{m-1} (b_{j+1} - b_j \leq b_{j+2} - b_{j+1})$, следовательно для $T_{DR}^{(5)} - \Omega_g = (20 - 0 \leq 45 - 20) \wedge (45 - 20 \leq 70 - 45) \wedge (70 - 45 \leq 100 - 70) = 1 \wedge 1 \wedge 1 = 1$. Как видим, значения $\Omega_g = 1$ для $T_{DR}^{(5)}$ является истинным, что говорит об адекватности выполняемых преобразований.

Пример 4 – убывающий тип распределения. Реализуем трансформирование НЧ ЛП $DR^{(3)}$, которые принимают значения из (9) (см [2]) с их числовыми эквивалентами в табл. 1 и имеют убывающий тип распределения по оси dr , т.е. для которых истинным является условие убывания (см. (9) в [5]), т.е.: $\Omega_y = (b_2 - b_1 > b_2 - b_3) = (70 - 0 > 100 - 70) = 1$. Как видим условие $\Omega_y = 1$ истинно, значит НЧ ЛП $DR^{(3)}$ соответствует убывающему типу распределения.

Реализуем в соответствии с этапами 1-4 из [2] n-кратное инкрементирование (1) ЛП $DR^{(3)}$.

Этап 1. Определим корректирующие параметры по выражениям (3) и (4) в [2], т.е.:

- первая итерация – $k_1^{(4)} = 50, l_1^{(4)} = 20,33, l_2^{(4)} = 19,5, l^{(4)} = 39,83;$
- вторая итерация – $k_1^{(5)} = 33,33, l_1^{(5)} = 14,54, l_2^{(5)} = 13,95, l^{(5)} = 28,49.$

Этап 2. Произведем поиск номера расширяющей вершины по формуле (4) из [4], т.е.:

- первая итерация – $x_1 = 70, x_2 = 30$, тогда $s=2$ при $(x_2 \leq k_1^{(4)} \leq x_1) \Rightarrow (30 \leq 50 \leq 70)$. В этом примере также, как при неравномерном типе распределения, встраивание дополнительного терма будем осуществлять после второй вершины, т.е. между вторым и третьим термом $T_{DR}^{(3)}$;
- вторая итерация – $x_1 = 33,33, x_2 = 46,67, x_3 = 20$, тогда $s=2$ при $(x_2 \geq k_1^{(5)} \geq x_1) \Rightarrow (46,67 \geq 33,33 \geq 33,33)$. Здесь встраивание допол-

нительного терма будем осуществлять после второй вершины, т.е. между вторым и третьим термом $T_{DR}^{(4)}$.

Этап 3. Вычислим значения абсцисс верхнего и нижнего основания треугольных НЧ с помощью выражений (5) и (6) в [4], т.е.:

- первая итерация – $b_1^{(4)'} = 0; b_2^{(4)'} = 70; b_3^{(4)'} = 120; b_4^{(4)'} = 150,$
 $a_1^{(4)'} = 0; a_2^{(4)'} = 28; a_3^{(4)'} = 71; a_4^{(4)'} = 110,83; c_1^{(4)'} = 51; c_2^{(4)'} = 90,5; c_3^{(4)'} = 126,83; c_4^{(4)'} = 139,83,$
- вторая итерация – $b_1^{(5)'} = 0; b_2^{(5)'} = 46,67; b_3^{(5)'} = 80; b_4^{(5)'} = 113,33; b_5^{(5)'} = 133,33,$
 $a_1^{(5)'} = 0; a_2^{(5)'} = 20,02; a_3^{(5)'} = 50,77; a_4^{(5)'} = 79,26; a_5^{(5)'} = 107,75; c_1^{(5)'} = 36,47; c_2^{(5)'} = 64,72; c_3^{(5)'} = 93,21; c_4^{(5)'} = 119,19; c_5^{(5)'} = 128,49.$

Этап 4. Нормируем полученные результаты с помощью выражений (7)-(10) из [4] посредством двух шагов.

Шаг 1. Вычисляем нормирующие коэффициенты по выражениям (7) и (8) в [4]:

- первая итерация – $k^{(4)} = 0,67, l_3^{(4)} = 0,72;$
- вторая итерация – $k^{(5)} = 0,75, l_3^{(5)} = 0,78.$

Шаг 2. Нормируем полученные эталоны с помощью формул (9) и (10) в [4]:

- первая итерация – $b_1^{(4)} = 0; b_2^{(4)} = 46,67; b_3^{(4)} = 80; b_4^{(4)} = 100,$
 $a_1^{(4)} = 0; a_2^{(4)} = 20,02; a_3^{(4)} = 50,77; a_4^{(4)} = 79,26; c_1^{(4)} = 36,47; c_2^{(4)} = 64,72; c_3^{(4)} = 90,7; c_4^{(4)} = 100,$
- вторая итерация – $b_1^{(5)} = 0; b_2^{(5)} = 35; b_3^{(5)} = 60; b_4^{(5)} = 85; b_5^{(5)} = 100,$
 $a_1^{(5)} = 0; a_2^{(5)} = 15,58; a_3^{(5)} = 39,52; a_4^{(5)} = 61,69; a_5^{(5)} = 83,86; c_1^{(5)} = 28,39; c_2^{(5)} = 50,37; c_3^{(5)} = 72,54; c_4^{(5)} = 92,76; c_5^{(5)} = 100.$

В результате чего для $T_{DR}^{(5)}$ (см. (10) [2]) получим значения термов, числовые эквиваленты которых занесены в табл. 2 (см. рис. 4 а и б).

Проверим условие убывания для $T_{DR}^{(5)}$. Здесь по аналогии с возрастающим типом распределения, необходимо сформировать частный случай

условия убывания, т.е.: $\Omega_y = \bigwedge_{j=1}^{m-1} (b_{j+1} - b_j \geq b_{j+2} - b_{j+1})$, следовательно для $T_{DR}^{(5)}$ - $\Omega_y = (35 - 0 \geq 60 - 35) \wedge (60 - 35 \geq 85 - 60) \wedge (85 - 60 \geq 100 - 85) = 1 \wedge 1 \wedge 1 = 1$.

Как видно значения $\Omega_y = 1$ для $T_{DR}^{(5)}$, как и для $T_{DR}^{(3)}$ является истинным, что позволяет сделать вывод об адекватности преобразований.

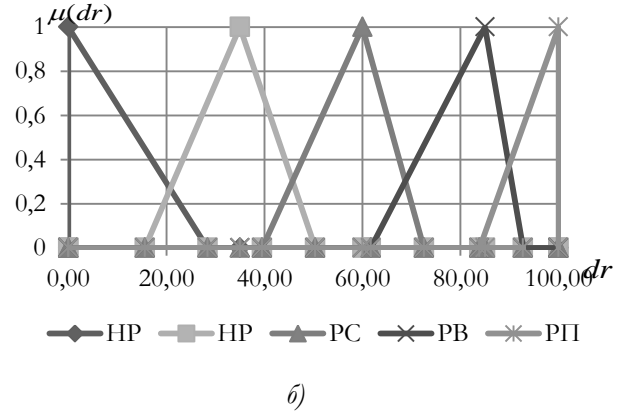
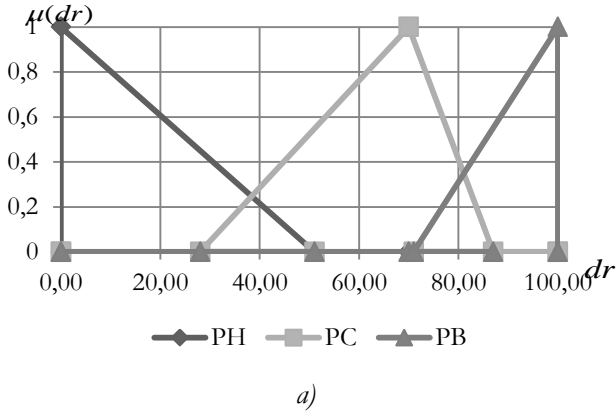


Рис. 4. Термы эталонных значений с убывающим типом распределения НЧ для ЛП DR: а) $T_{DR}^{(3)}$; б) $T_{DR}^{(5)}$

Таким образом, с целью совершенствования работы системы анализа и оценивания рисков ИБ, предложен метод реализации функции n-кратного инкрементирования числа термов с использованием второго частного расширения базы, в котором за счет модификации n-кратным расширением функции инкрементирования термов на один порядок, расширяется возможность формализации процесса эквивалентного трансформирования числа эталонных термов ЛП на n порядков без привлечения экспертов соответствующей предметной области. В отличие от однократного инкрементирования процесс n-кратного инкрементирования также как и в [2] подразумевает добавление дополнительных термов и формирование их на тех суждениях экспертов, которые уже существуют, поэтому значения дополнительных термов могут совпадать, следовательно, при проверке условий убывания и возрастания были сформированные частные случаи соответствующих условий.

ЛИТЕРАТУРА

[1]. Корченко А.Г. Анализ и оценивание рисков информационной безопасности / А.Г. Корченко, А.Е. Архипов, С.В. Казмирчук // Монография. – К.: ООО «Лазурит-Полиграф», 2013. – 275 с.
 [2]. Корченко А.Г. Метод n-кратного инкрементирования числа термов лингвистических переменных в задачах анализа и оценивания рисков / А.Г. Корченко, Б.С. Ахметов, С.В. Казмирчук, М.Н. Жекамбаева // Безпека інформації. – 2015. – Т.21. – №2. – С. 191-200.
 [3]. Корченко А.Г. Построение систем защиты информации на нечетких множествах. Теория и

практические решения / А.Г. Корченко – К.: «МК-Пресс», 2006. – 320с.

[4]. Корченко А.Г. Метод инкрементирования порядка лингвистических переменных для систем анализа и оценивания рисков / А.Г. Корченко, С.В. Казмирчук, Ю.Б. Коваленко, А.Ю. Гололобов // Захист інформації. – 2015. – Т.17. – №2, квітень-червень. – С. 100-108.
 [5]. Корченко А.Г. Метод преобразования эталонов параметров для систем анализа и оценивания рисков информационной безопасности / А.Г. Корченко, С.В. Казмирчук, А.Ю. Гололобов // Защита информации – 2013. – Том 15 №4. – С. 359-365.

REFERENCES

[1]. Korchenko A.G., Arkhipov A.E., Kazmirchuk S.V. Analysis and assessment of information security risks, Monograph., K : LLC «Lazurit-Polygraph», 2013., 275 p.
 [2]. Korchenko A.G., Akhmetov B.S., Kazmirchuk S.V., Zhekambaeva M.N. Method of n-fold incrementation the number of terms the linguistic variables in the tasks of analysis and risk assessment, Bezpeka Informacie, 2015, VOL. 21 №2, pp. 191-200.
 [3]. Korchenko A.G. The construction of security systems on the fuzzy sets. Theory and practical solutions, 2006, 320 p.
 [4]. Korchenko A.G., Kazmirchuk S.V., Kovalenko J.B., Gololobov A.Y. Increment order of linguistic variables method for risk analysis and assessment systems, Zahist informacii, 2015, VOL. 17 №2, pp. 100-108.
 [5]. Korchenko A.G., Kazmirchuk S.V., Gololobov A.Y. The conversion method of reference parameters for systems analysis and information security risk assessment, Zahist informacii, 2013, VOL. 15 №4, pp. 359-365.

МЕТОД n -КРАТНОГО ІНКРЕМЕНТУВАННЯ ПОРЯДКУ ЛІНГВІСТИЧНИХ ЗМІННИХ НА ОСНОВІ ЧАСТКОВОГО РОЗШИРЕННЯ БАЗИ

В основу існуючих систем аналізу та оцінювання ризиків закладені методи, що ґрунтуються на обробці лінгвістичних змінних, які базуються на еталонних параметричних трапецієподібних нечітких числах з різною кількістю термів, формування яких пов'язане з залученням експертів відповідної предметної області. Ефективність практичного використання такої системи залежить від її можливостей обробляти різні типи нечітких чисел і від оперативності варіювання кількості термів без залучення необхідних експертів. Для вирішення такого завдання пропонується метод n -кратного інкрементування порядку лінгвістичних змінних на основі другого часткового розширення бази, який дає можливість формалізувати процес еквівалентного трансформування числа термів лінгвістичної змінної на n порядків. Це дозволить удосконалити відповідну систему аналізу та оцінювання ризиків інформаційної безпеки за рахунок спрощення процедури коригування еталонів, за допомогою реалізації процесу n -кратного інкрементування числа термів для трикутних нечітких чисел.

Ключові слова: ризик, аналіз ризиків, оцінювання ризиків, система аналізу та оцінювання ризиків, нечітка змінна, функція трансформування термів лінгвістичних змінних, інкрементування, трикутні нечіткі числа.

n -FOLD INCREMENTATION OF LINGUISTIC VARIABLES ORDER METHOD, BASED ON PARTICULAR BASE EXPANSION

Existing risk analysis and assessment systems are based on linguistic variables processing, which in turn, are based on etalon parametric trapezoidal fuzzy numbers with a different number of defining terms, the formation of which is related to the involvement of experts in the relevant subject area. Practical use efficiency of this kind of systems depends on its ability to process different type of fuzzy numbers and on the vary efficiency of number of terms without the involvement of appropriate experts. N -fold incrementation of linguistic variables order method, based on the second particular base expansion, that would allow to formalize the process of the equal transformation of the number of terms of linguistic variable in n -orders is being proposed to solve this problem. This will help to improve the appropriate information security risk analysis and assessment system, at the expense of etalon correction procedure simplification, by implementing the process of the n -fold incrementation of number of terms for trapezoidal fuzzy numbers.

Index terms: risk, risk analysis, risk assessment, risk analysis and assessment system, fuzzy variable, linguistic variables' terms transformation, single incrementation, trapezoidal fuzzy numbers.

Корченко Александр Григорьевич, доктор технических наук, профессор, лауреат Государственной премии Украины в области науки и техники, заведующий кафедрой безопасности информационных технологий Национального авиационного университета.

E-mail: icaocentre@nau.edu.ua.

Корченко Александр Григорович, доктор технических наук, професор, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, завідувач кафедрою безпеки інформаційних технологій Національного авіаційного університету.

Korchenko Oleksandr, doctor of technical sciences, professor, laureate of the State Prize of Ukraine in Science and Technology, Head of Academic Department of IT-Security National Aviation University (Kyiv, Ukraine).

Ахметов Бахытжан Сражатдинович, доктор технических наук, профессор, директор Института информационных и телекоммуникационных технологий Казахского национального технического университета им. К.И. Сатпаева (Алматы, Казахстан).

E-mail: seilova_na@mail.ru.

Ахметов Бахитжан Сражатдинович, доктор технических наук, професор, директор Інституту інформаційних та телекомунікаційних технологій Казахського національного технічного університету ім. К.І. Сатпаєва (Алмати, Казахстан).

Akhmetov Bakhytzhn, Dr Eng, professor, Head of Information&telecommunication institute, Kazakh National Technical University named after K. Satpayev (Almaty, Republic of Kazakhstan).

Казмирчук Светлана Владимировна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры безопасности информационных технологий Национального авиационного университета.

E-mail: sv.kazmirchuk@gmail.com.

Казмірчук Світлана Володимирівна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедри безпеки інформаційних технологій Національного авіаційного університету.

Kazmirchuk Svitlana PhD in Eng., Associate Professor of Academic Department of IT-Security, National Aviation University.

Жекамбаева Майгуль Несипалдиевна, докторант кафедры «Компьютерная и программная инженерия» Казахского национального технического университета им. К.И. Сатпаева (Алматы, Казахстан).

E-mail: maia.kz@mail.ru.

Жекамбаева Майгуль Несіпалдієвна, докторант кафедри «Комп'ютерна та програмна інженерія» Казахського національного технічного університету ім. К.І. Сатпаєва (Алмати, Казахстан).

Zhekambaeva Maigul, doctoral student of Academic Department of «Computer and Software Engineering» Kazakh National Technical University named after K. Satpayev (Almaty, Republic of Kazakhstan).