© Korchenko O., Akhmetov B., Kazmirchuk S., Gololobov A. Method of function realization for transformation etalons in risk analysis and assessment // Ukrainian Scientific Journal of Information Security, 2015, vol. 21, issue 1, p. 104-112.

МЕТОД РЕАЛИЗАЦИИ ФУНКЦИИ ТРАНСФОРМИРОВАНИЯ ЭТАЛОНОВ В ЗАДАЧАХ АНАЛИЗА И ОЦЕНИВАНИЯ РИСКОВ

Александр Корченко[1], Бахытжан Ахметов[2], Светлана Казмирчук[1], Андрей Гололобов[1]

[1]Национальный авиационный университет, Украина
[2]Казахский национальный технический университет им. К.И. Сатпаева, Республика Казахстан

КОРЧЕНКО Александр Григорьевич, д.т.н.

Год и место рождения: 1961 год, г. Киев, Украина.
Образование: Киевский институт инженеров гражданской авиации (с 2000 года - Национальный авиационный университет), 1983 год.
Должность: заведующий кафедрой безопасности информационных технологий с 2004 года.
Научные интересы: информационная и авиационная безопасность.
Публикации: более 300 научных публикаций, среди которых монографии, словари, учебники, учебные пособия, научные статьи и патенты на изобретения.
E-mail: icaocentre@nau.edu.ua

АХМЕТОВ Бахытжан Сражатдинович, д.т.н.

Год и место рождения: 1954 год, Республика Казахстан.
Образование: МВТУ имени Н.Э. Баумана, 1977 год.
Должность: директор Института информационных и телекоммуникационных технологий с 2011 года.
Научные интересы: автоматизация управления, информатизация образования, защита информации и энергосберегающие технологии.
Публикации: автор 250 научных и учебно-методических трудов, в числе которых 7 монографий, 11 учебных пособий и 10 патентов.
E-mail: b_akhmetov@ntu.kz

КАЗМИРЧУК Светлана Владимировна, к.т.н.

Год и место рождения: 1985 год, г. Алматы, Республика Казахстан.
Образование: Национальный авиационный университет, 2006 год.
Должность: доцент кафедры безопасности информационных технологий с 2012 года.
Научные интересы: информационная безопасность, системы менеджмента информационной безопасности, защита программного обеспечения, комплексные системы защиты информации, управления информационными рисками.
Публикации: более 50 научных публикаций, среди которых монографии, учебные пособия, учебно-методические комплексы дисциплин, научные статьи и материалы и тезисы докладов на конференциях.
E-mail: sv.kazmirchuk@gmail.com

ГОЛОЛОБОВ Андрей Юрьевич

Год и место рождения: 1983 год, г. Киев, Украина.
Образование: НТУ Украины «Киевский политехнический институт», 2006 год.
Должность: аспирант кафедры безопасности информационных технологий с 2012 года.
Научные интересы: информационная безопасность, программирование.
Публикации: более 10 печатных научных работ, среди которых научные статьи и материалы и тезисы докладов на конференциях.
E-mail: b2d@ukr.net

Аннотация. *Существует система анализа и оценивания рисков информационной безопасности, которая основывается на обработке лингвистических переменных. Эти переменные базируются на эталонных параметрических трапециевидных нечетких числах с фиксированным количеством терм-множеств. Эталоны определяются экспертами на этапе инициализации базовых величин в процессе настройки системы. Эффективность ее использования повысится, если будет предусмотрена возможность коррекции эталонов без привлечения необходимых экспертов. Для решения такой задачи предлагается метод реализации функции трансформирования эталонов лингвистических переменных на основе однократного инкрементирования числа термов с использованием экспертных оценок, сделанных на этапе настройки системы. Это упростит процедуру корректировки эталонов, за счет реализации процесса однократного инкрементирования числа термов для трапециевидных нечетких чисел.*

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

Существующие средства анализа и оценивания рисков информационной безопасности (ИБ), которые основываются на нечеткой логике [1], используют лингвистические переменные (ЛП) с фиксированным количеством терм-множеств, определенных экспертами на этапе инициализации базовых величин при настройке системы. Для повышения эффективности таких средств в работах [2, 3] были представлены методы n-кратного декрементирования (понижения) числа термов ЛП для трапециевидных и треугольных нечетких чисел (НЧ), которые позволяют уменьшать порядок ЛП без привлечения экспертов соответствующей предметной области. При практическом использовании данных систем возникает необходимость трансформировать эталонны ЛП таким образом, чтобы область их определения расширилась на большее количество термов. Для этого следует использовать новые экспертные оценки с привлечением специалистов соответствующей предметной области. Этот процесс достаточно трудоемкий и создает дополнительную нагрузку на владельца системы. В связи с этим актуальным является решение задачи инкрементирования (повышения) числа термов ЛП на основе оценок экспертов, которые использовались на этапе настойки системы.

Исходя из актуальности, целью данной работы, является разработка метода трансформирования эталонов посредством однократного инкрементирования (увеличение на один порядок) числа термов ЛП. Это повысит эффективность соответствующих систем анализа и оценивания рисков ИБ и будет способствовать дальнейшему их усовершенствованию и расширению возможностей.

Для решения поставленной задачи в качестве ЛП воспользуемся $\boldsymbol{DR}$ – «СТЕПЕНЬ РИСКА» [1]. Пусть исходная ЛП имеет вид:

$\boldsymbol{DR}^{(m)}(\underset{\sim}{T}^{(m)}_{DR_1} = (a_1^{(m)}; b_{11}^{(m)}; b_{21}^{(m)}; c_1^{(m)})_{LR}, \ldots, \underset{\sim}{T}^{(m)}_{DR_j} = (a_j^{(m)}; b_{ij}^{(m)}; b_{ij}^{(m)}; c_j^{(m)})_{LR}, \ldots, \underset{\sim}{T}^{(m)}_{DR_m} = (a_m^{(m)}; b_{im}^{(m)}; b_{im}^{(m)}; c_m^{(m)})_{LR})$,

а преобразованная –

$\boldsymbol{DR}^{(m+1)}(\underset{\sim}{T}^{(m+1)}_{DR_1} = (a_1^{(m+1)}; b_{11}^{(m+1)}; b_{21}^{(m+1)}; c^{(m+1)})_{LR}, \ldots, \underset{\sim}{T}^{(m+1)}_{DR_j} = (a_j^{(m+1)}; b_{ij}^{(m+1)}; b_{ij}^{(m+1)}; c_j^{(m+1)})_{LR}, \ldots, \underset{\sim}{T}^{(m+1)}_{DR_{m+1}} = (a_{m+1}^{(m+1)}; b_{im+1}^{(m+1)}; b_{im+1}^{(m+1)}; c_{m+1}^{(m+1)})_{LR})$ ($j=\overline{1,m}$, $i=\overline{1,2}$), тогда функцию трансформирования ЛП на плюс один порядок (инкрементирование) обозначим через FT^{+1} ***(ЛП)***. Например, повышение $\boldsymbol{DR}^{(m)}$ на один порядок позволит расширить возможности использования указанной функции [2] посредством реализации операции трансформирования на +1 порядок:

$$\boldsymbol{DR}^{(m+1)} = FT^{+1}(\boldsymbol{DR}^{(m)}). \tag{1}$$

Так как, ЛП $\boldsymbol{DR}^{(m)}$ представляется НЧ с различными функциями принадлежности (ФП) $\mu(dr)$ [4], а для целей компактного описания такие ФП удобно отображать трапециевидными НЧ вида $\underset{\sim}{X}_{DR_j} = (a_j, b_{1j}, b_{2j}, c_j)_{LR}$, где a_j, c_j и b_{1j}, b_{2j} соответственно абсциссы нижнего и верхнего основания трапеции [4] (при $j=\overline{1,m}$), то выражение (1) представим в виде:

$$\begin{gathered}\boldsymbol{DR}^{(m+1)}((a_1,b_{11},b_{21},c_1),(a_2,b_{12},b_{22},c_2),\ldots,(a_m,b_{1m},b_{2m},c_m),(a_{m+1},b_{1m+1},b_{2m+1},c_{m+1}))= \\ FT^{+1}(\boldsymbol{DR}^{(m)}((a_1,b_{11},b_{21},c_1),(a_2,b_{12},b_{22},c_2),\ldots,(a_m,b_{1m},b_{2m},c_m))).\end{gathered} \tag{2}$$

Для реализации заданной функции (2) предлагается метод, который позволяет трансформировать эталоны за счет встраивания дополнительного терма. Метод содержит 4 этапа.

Этап 1. Поиск корректирующих параметров. Для реализации однократного инкрементирования числа термов, которое было ранее установлено экспертным путем, необходимо, соответственно для абсцисс верхнего и нижнего оснований, определить корректирующие параметры по следующим выражениям:

$$k_1^{(m+1)} = \frac{\sum_{j=1}^{m}\left(b_{2j}^{(m)} - b_{1j}^{(m)}\right)}{m}, \quad k_2^{(m+1)} = \frac{\sum_{j=2}^{m}\left(b_{1j}^{(m)} - b_{2j-1}^{(m)}\right)}{m-1}, \quad k^{(m+1)} = k_1^{(m+1)} + k_2^{(m+1)}, \quad j=\overline{1,m}; \tag{3}$$

$$l_1^{(m+1)} = \frac{a_2^{(m)} - a_1^{(m)} + \sum_{j=3}^{m}\left(a_j^{(m)} - c_{j-2}^{(m)}\right) + c_m^{(m)} - c_{m-1}^{(m)}}{m}, \quad l_2^{(m+1)} = \frac{\sum_{j=2}^{m}\left(c_{j-1}^{(m)} - a_j^{(m)}\right)}{m-1}, \quad l^{(m+1)} = l_1^{(m+1)} + l_2^{(m+1)}, \tag{4}$$

где $k_1^{(m+1)}$, $k_2^{(m+1)}$, $k^{(m+1)}$ и $l_1^{(m+1)}$, $l_2^{(m+1)}$, $l^{(m+1)}$ - корректирующие параметры соответственно для абсцисс верхнего и нижнего основания трапеции, а m - количество исходных терм-множеств.

Этап 2. Определение номера расширяющей вершины. Здесь, необходимо найти расширяющую вершину т.е. такое x_j $(j=\overline{1,m})$ по которому определяется позиция встраивания дополнительного терма. Реализация этого этапа осуществляется с помощью выражения определения расширяющей вершины $x_j = b_{2j}^{(m)} - b_{1j}^{(m)}$ $(j=\overline{1,m})$, номер которой (j) будет отображаться переменной s. Таким образом, поиск номера расширяющей вершины осуществляется посредством определения значения s согласно выражения (5):

$$s = j \text{ при } \left(x_j \le k_1^{(m+1)} \le x_{j+1}\right) \text{ или } \left(x_j \ge k_1^{(m+1)} \ge x_{j+1}\right), \tag{5}$$

где $k_1^{(m+1)}$ - корректирующий параметр, определяемый посредством (3).

Этап 3. Вычисление значений абсцисс. После нахождения номера расширяющей вершины необходимо определить значения абсцисс нижнего a_j, c_j и верхнего b_{1j}, b_{2j} основания трапециевидных НЧ вида $\underset{\sim}{X}_{DR_j} = (a_j, b_{1j}, b_{2j}, c_j)_{LR}$, при $j=\overline{1,m+1}$, т.е. осуществить их переопределение с учетом дополнительного терма. Реализацию этого этапа будем осуществлять с помощью следующих выражений:

$$b_{1j}^{(m+1)\prime} = \begin{cases} b_{1j}^{(m)} \text{ при } j < s+1; \\ b_{2j-1}^{(m)} + k_2^{(m+1)} \text{ при } j = s+1; \\ b_{1j-1}^{(m)} + k^{(m+1)} \text{ при } j > s+1, \end{cases} \quad b_{2j}^{(m+1)\prime} = \begin{cases} b_{2j}^{(m)} \text{ при } j < s+1; \\ b_{1j}^{(m+1)\prime} + k_1^{(m+1)} \text{ при } j = s+1; \quad j=\overline{1,m}, \\ b_{2j-1}^{(m)} + k^{(m+1)} \text{ при } j > s+1, \end{cases} \tag{6}$$

$$a_j^{(m+1)\prime} = \begin{cases} a_j^{(m)} \text{ при } j < s+2; \\ c_{j-2}^{(m+1)\prime} + l_1^{(m+1)} \text{ при } j = s+2; \\ a_{j-1}^{(m)} + l^{(m+1)} \text{ при } j > s+2, \end{cases} \quad c_j^{(m+1)\prime} = \begin{cases} c_j^{(m)} \text{ при } j < s \\ a_{j+1}^{(m)} + l_2^{(m+1)} \text{ при } j = s; \quad j=\overline{1,m}, \\ c_{j-1}^{(m)} + l^{(m+1)} \text{ при } j > s, \end{cases} \tag{7}$$

где m – количество исходных терм-множеств.

Этап 4. Нормирование эталонов. Для завершения процесса однократного инкрементирования, необходимо осуществить нормирование полученных на этапе 3 эталонных значений. Данный этап выполняется посредством 2-х шагов. Отметим, что после реализации этапов 1 и 2 абсциссы верхнего и нижнего основания трапеции были переопределены с помощью выражений (6) и (7). В результате этого они вышли за границы определения эталонов. Для нормирования полученных результатов, необходимо определить соответствующие коэффициенты.

Шаг 1. Формирование нормирующих коэффициентов осуществляется по выражениям (8) и (9), т.е.:

$$k_3^{(m+1)} = \frac{b_{dr}}{b_{2m+1}^{(m+1)\prime}}, \tag{8}$$

$$l_3^{(m+1)} = \frac{c_{dr}}{c_{m+1}^{(m+1)\prime}}, \tag{9}$$

где b_{dr} и c_{dr} соответственно максимальные значения абсцисс верхнего и нижнего основания трапеции.

Шаг 2. Нормирование абсцисс эталонных значений осуществляется с помощью $k_3^{(m+1)}$ и $l_3^{(m+1)}$ по выражениям (10) и (11), т.е.:

$$b_{ij}^{(m+1)} = b_{ij}^{(m+1)\prime} \times k_3^{(m+1)}, \quad i=\overline{1,2}, \; j=\overline{1,m}; \tag{10}$$

$$a_j^{(m+1)} = a_j^{(m+1)\prime} \times l_3^{(m+1)}, \qquad c_j^{(m+1)} = c_j^{(m+1)\prime} \times l_3^{(m+1)}, \; j=\overline{1,m}. \tag{11}$$

Для иллюстрации работы метода воспользуемся конкретным примером, где в качестве исходных данных, с учетом возможности дальнейшей верификации, будем использовать эталонные трапециевидные НЧ с равномерным, неравномерным, возрастающим и убывающим типом распределения при m=4 (см. табл. 1). С учетом этого выражение (1) принимает вид:

$$\boldsymbol{DR}^{(5)}(\underset{\sim}{T}_{DR_1}, \underset{\sim}{T}_{DR_2}, \underset{\sim}{T}_{DR_3}, \underset{\sim}{T}_{DR_4}, \underset{\sim}{T}_{DR_5}) = FT^{+1}(\boldsymbol{DR}^{(4)}(\underset{\sim}{T}_{DR_1}, \underset{\sim}{T}_{DR_2}, \underset{\sim}{T}_{DR_3}, \underset{\sim}{T}_{DR_4})),$$

где

$$\underset{\sim}{T}_{DR}^{(4)} = \left\{\bigcup_{j=1}^{4} \underset{\sim}{T}_{DR_j}\right\} = \left\{\underset{\sim}{T}_{DR_1}, \underset{\sim}{T}_{DR_2}, \underset{\sim}{T}_{DR_3}, \underset{\sim}{T}_{DR_4}\right\} = \left\{\underset{\sim}{НР}, \underset{\sim}{РС}, \underset{\sim}{РВ}, \underset{\sim}{ПР}\right\}, \; j=\overline{1,4}, \tag{12}$$

а НР - «Незначительный риск нарушения ИБ», РС - «Степень риска нарушения ИБ средняя», РВ - «Степень риска нарушения ИБ высокая», ПР - «Предельный риск нарушения ИБ» и

$$\underset{\sim}{T}_{DR}^{(5)} = \left\{\bigcup_{j=1}^{5} \underset{\sim}{T}_{DR_j}\right\} = \left\{\underset{\sim}{T}_{DR_1}, \underset{\sim}{T}_{DR_2}, \underset{\sim}{T}_{DR_3}, \underset{\sim}{T}_{DR_4}, \underset{\sim}{T}_{DR_5}\right\} = \left\{\underset{\sim}{НР}, \underset{\sim}{РН}, \underset{\sim}{РС}, \underset{\sim}{РВ}, \underset{\sim}{ПР}\right\}, \tag{13}$$

а НР - «Незначительный риск нарушения информационной безопасности (ИБ)», РН - Степень риска нарушения ИБ низкая», РС - «Степень риска нарушения ИБ средняя», РВ - «Степень риска нарушения ИБ высокая», ПР - «Предельный риск нарушения ИБ».

Как видно при однократном инкрементировании переопределяются не только числовые, а и лингвистические эквиваленты. В примере видно, что добавилось значение РН (см. (13)).

Так, как трапециевидные НЧ удобно описывать в виде $\underset{\sim}{X}_{DR_j} = (a_j, b_{1j}, b_{2j}, c_j)_{LR}$, где a_j, c_j и b_{1j}, b_{2j} соответственно абсциссы нижнего и верхнего основания трапеции [4] (при $j=\overline{1,m}$), то выражение (2) представим в виде:

$$DR^{(5)}((a_1,b_{11},b_{21},c_1),(a_2,b_{12},b_{22},c_2),(a_3,b_{13},b_{23},c_3),(a_4,b_{14},b_{24},c_4),(a_5,b_{15},b_{25},c_5)= \\ FT^{+1}(DR^{(4)}((a_1,b_{11},b_{21},c_1),(a_2,b_{12},b_{22},c_2),(a_3,b_{13},b_{23},c_3),(a_4,b_{14},b_{24},c_4))). \quad (14)$$

Пример 1 – равномерный тип распределения. Пусть ЛП $\boldsymbol{DR}^{(4)}$ определяется термами в (12). Для определения числовых значений $\underset{\sim}{T}_{DR_j}$, $j=\overline{1,4}$ воспользуемся данными из табл. 1 с равномерным типом распределения НЧ, т.е. для которых будет истинным условие равномерности (см. (6) в [5]): Ω_p = ($b_{21} - b_{11} = b_{22} - b_{12}$) Λ ($b_{22} - b_{12} = b_{23} - b_{13}$) Λ ($b_{23} - b_{13} = b_{24} - b_{14}$) Λ ($b_{12} - b_{21} = b_{13} - b_{22}$) Λ ($b_{13} - b_{22} = b_{14} - b_{23}$) = (14,29 – 0 = 42,87 – 28,58) Λ (42,87 – 28,58 = 71,45 – 57,16) Λ (71,45 – 57,16= 100,03 – 85,74) Λ (28,58 – 14,29 = 57,16 – 42,87) Λ (57,16 – 42,87 = 85,74 – 71,45) = 1 Λ 1 Λ 1 Λ 1 Λ 1 = 1. Как видно условие равномерности истинно ($\Omega_p = 1$), то НЧ ЛП $\boldsymbol{DR}^{(4)}$ соответствует равномерному типу распределения.

Для реализации функции (2) выполним однократное инкрементирование заданной в (14) ЛП $\boldsymbol{DR}^{(4)}$ с помощью выполнения необходимых этапов.

Таблица 1

Пример эталонных трапециевидных НЧ при m=4

Тип распределения НЧ ЛП ***DR***	НЧ $\underset{\sim}{T}_{DR_j}$, $= (a_j, b_{1j}, b_{2j}, c_j)_{LR}$ ($j=\overline{1,4}$)			
	$\underset{\sim}{T}_{DR_1}$	$\underset{\sim}{T}_{DR_2}$	$\underset{\sim}{T}_{DR_3}$	$\underset{\sim}{T}_{DR_4}$
Равномерный	*(0; 0; 14,29; 28,58)LR*	*(14,29; 28,58; 42,87; 57,16)LR*	*(42,87; 57,16; 71,45; 85,74)LR*	*(71,45; 85,74; 100; 100)LR*
Неравномерный	*(0; 0; 12,9; 38,71)LR*	*(12,9; 38,71; 54,84; 67,74)LR*	*(54,84; 67,74; 77,42; 90,32)LR*	*(77,42; 91,61; 100; 100)LR*
Возрастающий	*(0; 0; 6,45; 15,48)LR*	*(6,45; 15,48; 27,1; 41,29)LR*	*(27,1; 41,29; 58,06; 77,42)LR*	*(58,06; 77,42; 100; 100)LR*
Убывающий	*(0; 0; 22,58; 41,94)LR*	*(22,58; 41,94; 58,71; 72,9)LR*	*(58,71; 72,9; 84,52; 93,55)LR*	*(84,52; 93,55; 100; 100)LR*

Этап 1. Для определения корректирующих параметров воспользуемся выражениями (3) и (4) т.е.: $k_1^{(5)} = \left(b_{21}^{(4)} - b_{11}^{(4)} + b_{22}^{(4)} - b_{12}^{(4)} + b_{23}^{(4)} - b_{13}^{(4)} + b_{24}^{(4)} - b_{14}^{(4)}\right)/4 =$ (14,29 – 0 + 42,87 – 28,58 + 71,45 – 57,16 + 100,03 – 85,74) / 4 = 14,29; $k_2^{(5)} = \left(b_{12}^{(4)} - b_{21}^{(4)} + b_{13}^{(4)} - b_{22}^{(4)} + b_{14}^{(4)} - b_{23}^{(4)}\right)/3 =$ (28,58 – 14,29 + 57,16 – 42,87 + 85,74 – 71,45)/3 = 14,29; $k^{(5)} = k_1^{(5)} + k_2^{(5)} =$ 14,29 + 14,29 = 28,58;

$l_1^{(5)} = \left(a_2^{(4)} - a_1^{(4)} + a_3^{(4)} - c_1^{(4)} + a_4^{(4)} - c_2^{(4)} + c_4^{(4)} - c_3^{(4)}\right)/4 =$ (14,29 – 0 + 43,87 – 28,58 + 71,45 – 57,16 + 100,03 – 85,74) / 4 = 14,29; $l_2^{(5)} = \left(c_1^{(4)} - a_2^{(4)} + c_2^{(4)} - a_3^{(4)} + c_3^{(4)} - a_4^{(4)}\right)/3 =$ (28,58 – 14,29 + 57,16 – 42,87 + 85,74 – 71,45)/3 = 14,29; $l^{(5)} = l_1^{(5)} + l_2^{(5)} =$ 14,29 + 14,29 = 28,58.

Этап 2. Определение номера расширяющей вершины осуществим с помощью (5), т.е.: $x_1 = b_{21}^{(4)} - b_{11}^{(4)}$ = 14,29 – 0 = 14,29; $x_2 = b_{22}^{(4)} - b_{12}^{(4)}$ = 42,87 – 28,58=14,29; $x_3 = b_{23}^{(4)} - b_{13}^{(4)}$ = 71,45 –57,16 = 14,29; $x_4 = b_{24}^{(4)} - b_{14}^{(4)}$ = 100,03 – 85,74 = 14,29. Как видно s=1 при $\left(x_1 \le k_1^{(5)} \le x_2\right)$ => (14,29 ≤ 14,29 ≤ 14,29), s=2 при $\left(x_2 \le k_1^{(5)} \le x_3\right)$ => (14,29 ≤ 14,29 ≤14,29), и т.д. Поскольку тип распределения НЧ равномерный, то расширяющих вершин будет несколько и таким образом, в качестве s можно использовать любую из j ($j=\overline{1,4}$). Исходя из этого, например, встраивание дополнительного терма осуществим после первой вершины, т.е. между первым и вторым термом $\underset{\sim}{T}_{DR}^{(4)}$.

Этап 3. Согласно выражений (6) и (7), вычислим значения абсцисс верхнего и нижнего основания трапеции т.е.:

$b_{11}^{(5)\prime} = b_{11}^{(4)}$ = 0 при 1 < 2; $b_{21}^{(5)\prime} = b_{21}^{(4)}$ = 14,29 при 1 < 2;

$b_{12}^{(5)\prime} = b_{21}^{(4)} + k_2^{(5)}$ = 14,29 + 14,29 = 28,58 при 2 = 2;

$b_{22}^{(5)\prime} = b_{12}^{(5)\prime} + k_1^{(5)}$ = 28,58 + 14,29 = 42,87 при 2 = 2;

$b_{13}^{(5)\prime} = b_{12}^{(4)} + k^{(5)}$ = 28,58 + 28,58 = 57,16 при 3 > 2;

$b_{23}^{(5)\prime} = b_{22}^{(4)} + k^{(5)}$ = 42,87 + 28,58 = 71,45 при 3 > 2;

$b_{14}^{(5)\prime} = b_{13}^{(4)} + k^{(5)}$ = 57,16 + 28,58 = 85,74 при 4 > 2;

$b_{24}^{(5)\prime} = b_{23}^{(4)} + k^{(5)}$ = 71,45 + 28,58 = 100,03 при 4 > 2;

$b_{15}^{(5)\prime} = b_{14}^{(4)} + k^{(5)}$ = 85,74 + 28,55 = 114,32 при 5 > 2;

$b_{25}^{(5)\prime} = b_{24}^{(4)} + k^{(5)}$ = 100,03 + 28,58 = 128,61 при 5 > 2.

Аналогично вычислим абсциссы нижнего основания, т.е.: $a_1^{(5)\prime} = a_1^{(4)}$ = 0 при 1 < 3; $a_2^{(5)\prime} = a_2^{(4)}$ = 14,29 при 2 < 3; $c_1^{(5)\prime} = a_2^{(4)} + l_2^{(5)}$ = 14,29 + 14,29 = 28,58 при 1 = 1;

$a_3^{(5)\prime} = c_1^{(4)} + l_1^{(5)}$ = 28,58 + 14,29 = 42,87 при 3 = 3;

$c_2^{(5)\prime} = c_1^{(4)} + l^{(5)}$ = 28,58 + 28,58 = 57,16 при 2 > 1;

$a_4^{(5)\prime} = a_3^{(4)} + l^{(5)}$ = 42,87 + 28,58 = 71,45 при 4 > 3;

$c_3^{(5)\prime} = c_2^{(4)} + l^{(5)}$ = 57,16 + 28,58 = 85,74 при 3 > 1;

$a_5^{(5)\prime} = a_4^{(4)} + l^{(5)}$ = 71,45 + 28,58 = 100,03 при 5 > 3;

$c_4^{(5)\prime} = c_3^{(4)} + l^{(5)}$ = 85,74 + 28,58 = 114,32 при 4 > 1;

$c_5^{(5)\prime} = c_4^{(4)} + l^{(5)}$ = 100,03 + 28,58 = 128,61 при 5 > 1.

Этап 4. С помощью выражений (8)-(11) на основе двухшаговой последовательности (при b_{dr} = c_{dr} = 100) осуществим нормирование полученных эталонных значений.

Шаг 1. Вычисляем нормирующие коэффициенты по выражениям (8) и (9): $k_3^{(5)} = b_{dr} / b_{25}^{(5)\prime} =$ 100 / 128,61 = 0,78; $l_3^{(5)} = c_{dr} / c_5^{(5)\prime} =$ 100 / 128,61 = 0,78.

Шаг 2. Нормируем полученные на этапе 3 эталонные значения с помощью выражений (10) и (11): $b_{11}^{(5)} = b_{11}^{(5)\prime} \times k_3^{(5)}$ = 0 × 0,78 = 0; $b_{21}^{(5)} = b_{21}^{(5)\prime} \times k_3^{(5)}$ = 14,29 × 0,78 = 11,11; $b_{12}^{(5)} = b_{12}^{(5)\prime} \times k_3^{(5)}$ = 28,58 × 0,78 = 22,22; $b_{22}^{(5)} = b_{22}^{(5)\prime} \times k_3^{(5)}$ = 42,87 × 0,78 = 33,33; $b_{13}^{(5)} = b_{13}^{(5)\prime} \times k_3^{(5)}$ = 57,16 × 0,78 = 44,44; $b_{23}^{(5)} = b_{23}^{(5)\prime} \times k_3^{(5)}$ = 71,45 × 0,78 = 55,55; $b_{14}^{(5)} = b_{14}^{(5)\prime} \times k_3^{(5)}$ = 85,74 × 0,78 = 66,66; $b_{24}^{(5)} = b_{24}^{(5)\prime} \times k_3^{(5)}$ = 100,03 × 0,78 = 77,77; $b_{15}^{(5)} = b_{15}^{(5)\prime} \times k_3^{(5)}$ = 114,32 × 0,78 = 88,88; $b_{25}^{(5)} = b_{25}^{(5)\prime} \times k_3^{(5)}$ = 128,61 × 0,78 = 100; $a_1^{(5)} = a_1^{(5)\prime} \times l_3^{(5)}$ = 0 × 0,78 = 0; $a_2^{(5)} = a_2^{(5)\prime} \times l_3^{(5)}$ = 14,29 × 0,78 = 11,11; $a_3^{(5)} = a_3^{(5)\prime} \times l_3^{(5)}$ = 42,87 × 0,78 = 33,33; $a_4^{(5)} = a_4^{(5)\prime} \times l_3^{(5)}$ = 71,45 × 0,78 = 55,55; $a_5^{(5)} = a_5^{(5)\prime} \times l_3^{(5)}$ = 100,03 × 0,78 = 77,77, $c_1^{(5)} = c_1^{(5)\prime} \times l_3^{(5)}$ = 28,58 × 0,78 = 22,22; $c_2^{(5)} = c_2^{(5)\prime} \times l_3^{(5)}$ = 57,16 × 0,78 = 44,44; $c_3^{(5)} = c_3^{(5)\prime} \times l_3^{(5)}$ = 85,74 × 0,78 = 66,66; $c_4^{(5)} = c_4^{(5)\prime} \times l_3^{(5)}$ = 114,32 × 0,78 = 88,88; $c_5^{(5)} = c_5^{(5)\prime} \times l_3^{(5)}$ = 128,61 × 0,78 = 100.

В результате трансформирования термов ЛП получим, например, для $\underset{\sim}{T}_{DR}^{(5)}$ лингвистические значения (14) с соответствующими числовыми эквивалентами, значения которых определены на шаге 2 этапа 4 и занесены в таблицу 2.

Таблица 2

Инкрементированные эталонные трапециевидные НЧ

*Тип распределения НЧ ЛП **DR***	НЧ $\underset{\sim}{T}_{DR_j} = (a_j, b_{1j}, b_{2j}, c_j)_{LR}$ $(j = \overline{1,5})$				
	$\underset{\sim}{T}_{DR_1}$	$\underset{\sim}{T}_{DR_2}$	$\underset{\sim}{T}_{DR_3}$	$\underset{\sim}{T}_{DR_4}$	$\underset{\sim}{T}_{DR_5}$
Равномерный	*(0; 0; 11,11; 22,22)LR*	*(11,11; 22,22; 33,33; 44,44)LR*	*(33,34; 44,44; 55,55; 66,66)LR*	*(55,55; 66,66; 77,77; 88,88)LR*	*(77,77; 88,88; 100; 100)LR*
Неравномерный	*(0; 0; 9,97; 29,91)LR*	*(9,97; 29,91; 42,38; 56)LR*	*(42,38; 56; 65,1; 75,07)LR*	*(65,1; 75,7; 82,55; 93,52)LR*	*(82,55; 93,52; 100; 100)LR*
Возрастающий	*(0; 0; 5,02; 12,04)LR*	*(5,02; 12,04; 21,08; 32,12)LR*	*(21,08; 32,12; 43,29; 54,33)LR*	*(43,29; 54,33; 67,37; 82,43)LR*	*(67,37; 82,43; 100; 100)LR*
Убывающий	*(0; 0; 17,57; 32,63)LR*	*(17,57; 32,63; 45,67; 56,71)LR*	*(45,67; 56,71; 67,88; 78,92)LR*	*(67,88; 78,92; 87,96; 94,98)LR*	*(87,96; 94,98; 100; 100)LR*

Далее вычислим условие равномерности для $\underset{\sim}{T}_{DR}^{(5)}$:

Ω_p = (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 = 100 – 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.

Как видим $\underset{\sim}{T}_{DR}^{(5)}$ также, как и $\underset{\sim}{T}_{DR}^{(4)}$ имеет $\Omega_p = 1$, что говорит об эквивалентности выполненных преобразований. Графическая интерпретация исходных и преобразованных эталонов равномерно распределенных НЧ $\underset{\sim}{T}_{DR}^{(4)}$ и $\underset{\sim}{T}_{DR}^{(5)}$ приведена на рис. 1.

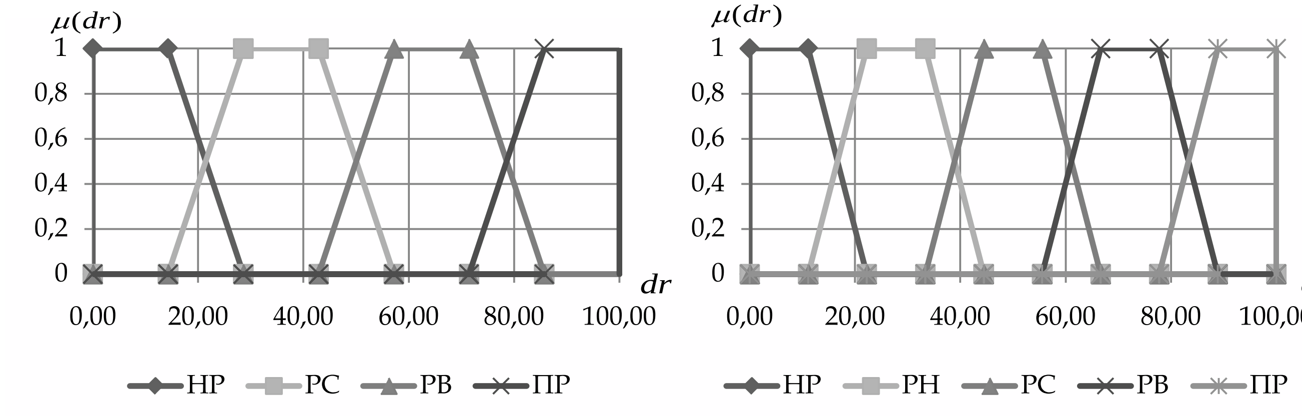

Рис. 1. Термы эталонных значений равномерно распределенных НЧ для ЛП ***DR*** при $\underset{\sim}{T}_{DR}^{(4)}$ и $\underset{\sim}{T}_{DR}^{(5)}$

Пример 2 – неравномерный тип распределения. Пусть ЛП ***DR***(4) также, как и в примере 1, определяется термами в (12). Рассмотрим работу метода на примере неравномерно распределенных по оси *dr* НЧ с их числовыми эквивалентами $\underset{\sim}{T}_{DR_j}$, $j = \overline{1,4}$ из табл. 1, т.е. для которых будет истинным условие неравномерности (см. (9) в [5]): $\Omega_н$ = (b_{21} - b_{11} ≠ b_{22} - b_{12}) ∨ (b_{22} - b_{12} ≠ b_{23} - b_{13}) ∨ (b_{23} - b_{13} ≠ b_{24} - b_{14}) + (b_{12} - b_{21} ≠ b_{13} - b_{22}) ∨ (b_{13} – b_{22} ≠ b_{14} - b_{23}) = (12,9 – 0 ≠ 54,84 – 38,71) ∨ (54,84 – 38,71 ≠ 77,42 – 67,74) ∨ (77,42 – 67,74 ≠ 100 – 91,61) + (38,71 – 12,9 ≠ 67,74 – 54,84) ∨ (67,74 – 54,84 ≠ 91,61 – 77,42) = 1 ∨ 1 ∨ 1 + 1 ∨ 1 = 1. Как видим условие неравномерности истинно ($\Omega_н$ =1), это говорит о соответствии НЧ ЛП ***DR***(4) такому типу распределения, как неравномерный.

Далее выполним, в соответствие с этапами 1-4, однократное инкрементирование ЛП ***DR***$^{(4)}$ по выражению (2).

Этап 1. Реализуем поиск корректирующих параметров по выражениям (3) и (4) т.е.: $k_1^{(5)} = 11{,}78$; $k_2^{(5)} = 17{,}63$; $k^{(5)} = 29{,}41$; $l_1^{(5)} = 11{,}78$; $l_2^{(5)} = 17{,}63$; $l^{(5)} =$ 29,41.

Этап 2. Здесь осуществим определение номера расширяющей вершины по формуле (5), т.е.: $x_1 =$ 12,9; $x_2 = 16{,}13$; $x_3 = 9{,}68$; $x_4 = 8{,}39$, тогда s=2 при $\left(x_2 \ge k_1^{(5)} \ge x_3\right)$ =>(16,13≥11,78≥9,68). В этом примере встраивание дополнительного терма будем осуществлять после второй вершины, т.е. между вторым и третьим термом $\underset{\sim}{T}_{DR}^{(4)}$.

Этап 3. Реализуем вычисление значений абсцисс верхнего и нижнего основания трапеции с помощью выражений (6) и (7), т.е.: $b_{11}^{(5)\prime} = b_{11}^{(4)} = 0$; $b_{21}^{(5)\prime} = b_{21}^{(4)} = 12{,}9$; $b_{12}^{(5)\prime} = b_{12}^{(4)} = 38{,}71$; $b_{22}^{(5)\prime} = b_{22}^{(4)} = 54{,}84$; $b_{13}^{(5)\prime} = b_{22}^{(4)} + k_2^{(5)} = 72{,}47$; $b_{23}^{(5)\prime} = b_{13}^{(5)\prime} + k_1^{(5)} = 84{,}25$; $b_{14}^{(5)\prime} = b_{13}^{(4)} + k^{(5)} = 97{,}15$; $b_{24}^{(5)\prime} = b_{23}^{(4)} + k^{(5)} = 106{,}83$; $b_{15}^{(5)\prime} = b_{14}^{(4)} + k^{(5)} = 121{,}02$; $b_{25}^{(5)\prime} = b_{24}^{(4)} + k^{(5)} = 129{,}41$; $a_1^{(5)\prime} = a_1^{(4)} = 0$; $a_2^{(5)\prime} = a_2^{(4)} = 12{,}9$; $a_3^{(5)\prime} = a_3^{(4)} = 54{,}84$; $a_4^{(5)\prime} = c_2^{(5)\prime} + l_1^{(5)} = 84{,}25$; $a_5^{(5)\prime} = a_4^{(4)} + l^{(5)} = 106{,}83$, $c_1^{(5)\prime} = c_1^{(4)} = 29{,}91$; $c_2^{(5)\prime} = a_3^{(4)} + l_2^{(5)} = 72{,}47$; $c_3^{(5)\prime} = c_2^{(4)} + l^{(5)}$ = 97,15; $c_4^{(5)\prime} = c_3^{(4)} + l^{(5)} = 121{,}02$;. $c_5^{(5)\prime} = c_4^{(4)} + l^{(5)} = 129{,}41$.

Этап 4. С помощью выражений (8)-(11) в 2 шага осуществим нормирование полученных значений**.**

Шаг 1. Находим нормирующие коэффициенты с помощью формул (8) и (9): $k_3^{(5)} = 0{,}77$; $l_3^{(5)} = 0{,}77$.

Шаг 2. Реализуем нормирование полученных эталонов согласно выражениям (10) и (11), т.е.: $b_{11}^{(5)} =$ 0; $b_{21}^{(5)} = 9{,}97$; $b_{12}^{(5)} = 29{,}91$; $b_{22}^{(5)} = 42{,}38$; $b_{13}^{(5)} = 56$; $b_{23}^{(5)} =$ 65,1; $b_{14}^{(5)} = 75{,}07$; $b_{24}^{(5)} = 82{,}55$; $b_{15}^{(5)} = 93{,}52$; $b_{25}^{(5)} = 100$; $a_1^{(5)} = 0$; $a_2^{(5)} = 9{,}97$; $a_3^{(5)} = 42{,}38$; $a_4^{(5)} = 65{,}1$; $a_5^{(5)} =$ 82,55; $c_1^{(5)} = 29{,}91$; $c_2^{(5)} = 56$; $c_3^{(5)} = 75{,}07$; $c_4^{(5)} = 93{,}52$; $c_5^{(5)} = 100$.

В результате однократного инкрементирования получим, например, для $\underset{\sim}{T}_{DR}^{(5)}$ значения термов (14), а их числовые эквиваленты отобразим в табл. 2.

После проведенных преобразований вычислим $\Omega_н$ для $\underset{\sim}{T}_{DR}^{(5)}$: $\Omega_н =$ (9,97 - 0 ≠ 42,38 – 29,91) ⋁ (42,38 – 29,91 ≠ 65,1 - 56) ⋁ (65,1 – 56 ≠ 82,55 – 75,07) ⋁ (82,55 – 75,07 ≠ 100 – 93,52) + (29,91 – 9,97 ≠ 56 – 42,38) ⋁ (56 – 42,38 ≠ 75,07 – 65,1) ⋁ (75,07 – 65,1 ≠ 93,52 – 82,54) = 1. Условие неравномерности $\underset{\sim}{T}_{DR}^{(5)}$ так же, как и $\underset{\sim}{T}_{DR}^{(4)}$ является истинно $\Omega_н = 1$, что говорит об эквивалентности выполненных преобразований.

Графическая интерпретация исходных и преобразованных эталонов неравномерно распределенных НЧ $\underset{\sim}{T}_{DR}^{(4)}$ и $\underset{\sim}{T}_{DR}^{(5)}$ приведена на рис. 2.

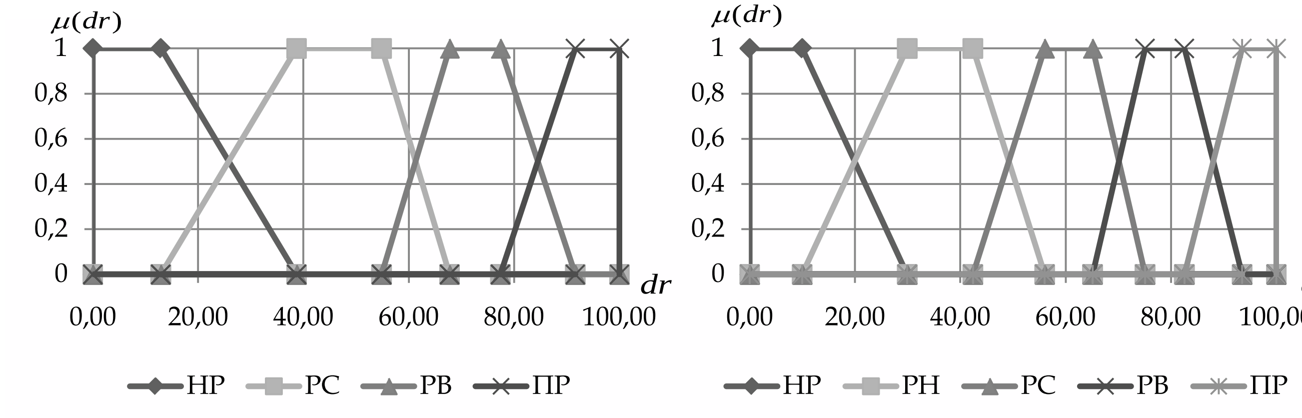

Рис. 2. Термы эталонных значений неравномерно распределенных НЧ для ЛП ***DR*** при $\underset{\sim}{T}_{DR}^{(4)}$ и $\underset{\sim}{T}_{DR}^{(5)}$

Пример 3 – возрастающий тип распределения. Покажем работу представленного метода для ЛП ***DR***$^{(4)}$ с термами (12), числовые значения которых $\underset{\sim}{T}_{DR_j}$, $j = \overline{1,4}$ из табл. 1 имеют возрастающий тип распределения по оси *dr*, т.е. для которого истинным является условие возрастания (см. (10) в [5]): $\Omega_в = (b_{21} - b_{11} < b_{22} - b_{12}) \wedge (b_{22} - b_{12} < b_{23} - b_{13}) \wedge (b_{23} - b_{13} < b_{24} - b_{14}) \wedge (b_{12} - b_{21} < b_{13} - b_{22}) \wedge (b_{13} - b_{22} < b_{14} - b_{23})$ = (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 Λ 1 Λ 1 Λ 1 Λ 1 = 1. Как видно, условие $\Omega_в = 1$ истинно, что говорит о соответствии НЧ ЛП ***DR***$^{(4)}$ возрастающему типу распределения.

По аналогии с примером для равномерно распределенных НЧ произведем, в соответствии с этапами 1-4 преобразования (14).

Этап 1. Реализуем поиск корректирующих параметров по выражениям (3) и (4) т.е.: $k_1^{(5)} =$ 14,36; $k_2^{(5)} = 14{,}19$; $k^{(5)} = 28{,}55$; $l_1^{(5)} = 14{,}36$; $l_2^{(5)} =$ 14,19; $l^{(5)} = 28{,}55$.

Этап 2. Теперь определим номер расширяющей вершины по формуле (5), т.е.: $x_1 = 6{,}45$; $x_2 = 11{,}62$; $x_3 = 16{,}77$; $x_4 = 22{,}58$, тогда s=2 при $\left(x_2 \le k_1^{(5)} \le x_3\right)$ => (11,62 ≤ 14,36 ≤ 16,77). Здесь встраивание дополнительного терма будем осуществлять после второй вершины, т.е. между вторым и третьим термом $\underset{\sim}{T}_{DR}^{(4)}$.

Этап 3. С помощью выражений (6) и (7), реализуем вычисление значений абсцисс верхнего и нижнего основания трапеции, т.е.: $b_{11}^{(5)\prime} = 0$; $b_{21}^{(5)\prime} = 6{,}45$; $b_{12}^{(5)\prime} = 15{,}48$; $b_{22}^{(5)\prime} = 27{,}1$; $b_{13}^{(5)\prime} = 41{,}29$; $b_{23}^{(5)\prime} = 55{,}65$; $b_{14}^{(5)\prime} = 69{,}84$; $b_{24}^{(5)\prime} = 86{,}61$; $b_{15}^{(5)\prime} = 105{,}97$; $b_{25}^{(5)\prime} = 128{,}55$;
$a_1^{(5)\prime} = 0$; $a_2^{(5)\prime} = 6{,}45$; $a_3^{(5)\prime} = 27{,}1$; $a_4^{(5)\prime} = 55{,}65$; $a_5^{(5)\prime} = 86{,}61$, $c_1^{(5)\prime} = 15{,}48$; $c_2^{(5)\prime} = 41{,}29$; $c_3^{(5)\prime} = 69{,}84$; $c_4^{(5)\prime} = 105{,}97$;. $c_5^{(5)\prime} = 128{,}55$.

Этап 4. После нормируем полученные результаты с помощью выражений (8)-(11) в два шага**.**

Шаг 1. Вычисляем нормирующие коэффициенты (см. (8) и (9)): $k_3^{(5)} = 0{,}78$; $l_3^{(5)} = 0{,}78$.

Шаг 2. Нормируем полученные на этапе 3 эталоны (см. (10) и (11)): $b_{11}^{(5)} = 0$; $b_{21}^{(5)} = 5{,}02$; $b_{12}^{(5)} = 12{,}04$; $b_{22}^{(5)} = 21{,}08$; $b_{13}^{(5)} = 32{,}12$; $b_{23}^{(5)} = 43{,}29$; $b_{14}^{(5)} = 54{,}33$; $b_{24}^{(5)} = 67{,}37$; $b_{15}^{(5)} = 82{,}43$; $b_{25}^{(5)} = 100$;
$a_1^{(5)} = 0$; $a_2^{(5)} = 5{,}02$; $a_3^{(5)} = 21{,}08$; $a_4^{(5)} = 43{,}29$; $a_5^{(5)} = 67{,}37$; $c_1^{(5)} = 12{,}04$; $c_2^{(5)} = 32{,}12$; $c_3^{(5)} = 54{,}33$; $c_4^{(5)} = 82{,}43$; $c_5^{(5)} = 100$.

В результате чего для $\underset{\sim}{T}_{DR}^{(5)}$ (см. (13)) получим значения термов, числовые эквиваленты которых занесены в таблицы 2 (см. рис. 3).

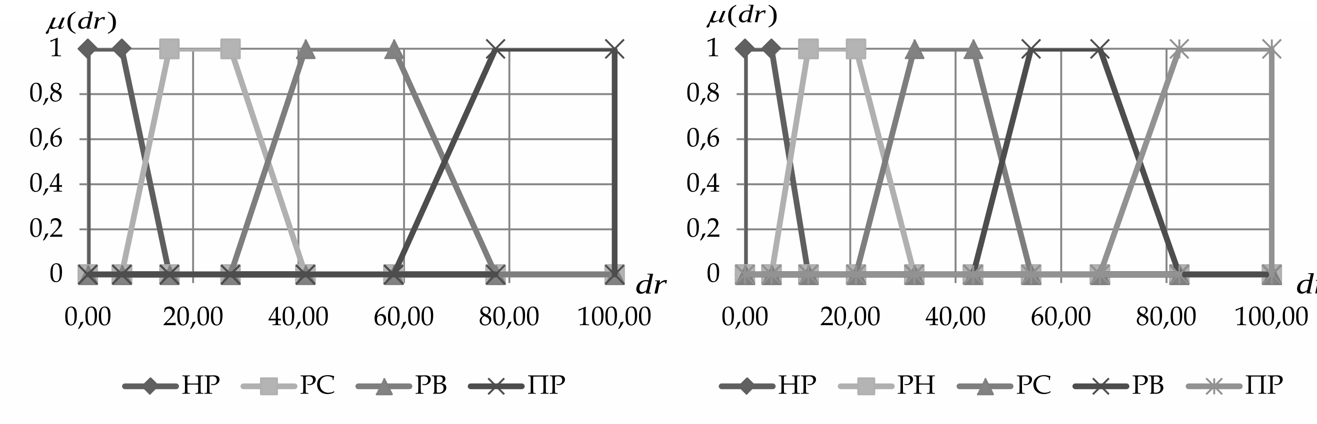

Рис. 3. Термы эталонных значений с возрастающим типом распределения НЧ для ЛП ***DR*** при $\underset{\sim}{T}_{DR}^{(4)}$ и $\underset{\sim}{T}_{DR}^{(5)}$

Далее проверим условие возрастания для $\underset{\sim}{T}_{DR}^{(5)}$:

$\Omega_в$ = (5,02 - 0 < 21,08 – 12,04) Λ (21,08 – 12,04 < 43,29 – 32,12) Λ (43,29 – 32,12 < 67,37 – 54,33) Λ (67,37 – 54,33 < 100 – 82,43) Λ (12,04 – 5,02 < 32,12 – 21,08) Λ (32,12 – 21,08 < 54,33 – 43,29) Λ (54,33 – 43,29 < 82,43 – 67,37) = 1 Λ 1 Λ 1 Λ 1 Λ 1 Λ 1 Λ 1 = 1. Как видим, значения $\Omega_в = 1$ для $\underset{\sim}{T}_{DR}^{(5)}$ является истинным, что говорит об адекватности выполняемых преобразований.

Пример 4 – убывающий тип распределения. Реализуем трансформирование НЧ ЛП ***DR***(4), которые принимают значения (12) с их числовыми эквивалентами из табл. 1 и имеют убывающий тип распределения по оси *dr*, т.е. для которых истинным является условие убывания (см. (11) в [5]) т.е.: 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_{12} - b_{21} > b_{13} - b_{22}) Λ (b_{13} - b_{22} > b_{14} - b_{23}) = (22,58 - 0 > 58,71 – 41,94) Λ (58,71 – 41,94 > 84,52 – 72,9) Λ (84,52 – 72,9 > 100 – 93,55) Λ (41,94 – 22,58> 72,9 – 58,71) Λ (72,9 – 58,71 > 93,55 – 84,52) = 1 Λ 1 Λ 1 Λ 1 Λ 1 = 1. Как видим условие $\Omega_y = 1$ истинно, значит НЧ ЛП ***DR***(4) соответствует убывающему типу распределения.

Реализуем в соответствие с этапами 1-4 однократное инкрементирование (2) ЛП ***DR***(4).

Этап 1. Определим корректирующие параметры по выражениям (3) и (4) т.е.: $k_1^{(5)} = 14{,}36$; $k_2^{(5)} = 14{,}19$; $k^{(5)} = 28{,}55$; $l_1^{(5)} = 14{,}36$; $l_2^{(5)} = 14{,}19$; $l^{(5)} = 28{,}55$.

Этап 2. Произведем поиск номера расширяющей вершины по формуле (5), т.е.: $x_1 = 22{,}58$; $x_2 = 16{,}77$; $x_3 = 11{,}62$; $x_4 = 6{,}45$, тогда s=2 при $\left(x_2 \ge k_1^{(5)} \ge x_3\right)$ => (16,77 ≥ 14,36 ≥ 11,62). В этом примере так же, как при неравномерном типе распределения, встраивание дополнительного терма будем осуществлять после второй вершины, т.е. между вторым и третьим термом $\underset{\sim}{T}_{DR}^{(4)}$.

Этап 3. Вычислим значения абсцисс верхнего и нижнего основания трапеции с помощью выражений (6) и (7), т.е.: $b_{11}^{(5)\prime} = 0$; $b_{21}^{(5)\prime} = 22{,}58$; $b_{12}^{(5)\prime} = 41{,}94$; $b_{22}^{(5)\prime} = 58{,}71$; $b_{13}^{(5)\prime} = 72{,}9$; $b_{23}^{(5)\prime} = 87{,}26$; $b_{14}^{(5)\prime} = 101{,}45$; $b_{24}^{(5)\prime} = 113{,}07$; $b_{15}^{(5)\prime} = 122{,}1$; $b_{25}^{(5)\prime} = 128{,}55$;

$a_1^{(5)\prime} = 0$; $a_2^{(5)\prime} = 22{,}58$; $a_3^{(5)\prime} = 58{,}71$; $a_4^{(5)\prime} = 87{,}26$; $a_5^{(5)\prime} = 113{,}07$, $c_1^{(5)\prime} = 41{,}94$; $c_2^{(5)\prime} = 72{,}9$; $c_3^{(5)\prime} = 101{,}45$; $c_4^{(5)\prime} = 122{,}1$;. $c_5^{(5)\prime} = 128{,}55$.

Этап 4. Нормируем полученные результаты с помощью выражений (8)-(11) в два шага**.**

Шаг 1. Вычисляем нормирующие коэффициенты по выражениям (8) и (9): $k_3^{(5)} = 0{,}78$; $l_3^{(5)} = 0{,}78$.

Шаг 2. Нормируем полученные эталоны с помощью формул (10) и (11): $b_{11}^{(5)} = 0$; $b_{21}^{(5)} = 17{,}57$; $b_{12}^{(5)} = 32{,}63$; $b_{22}^{(5)} = 45{,}67$; $b_{13}^{(5)} = 56{,}71$; $b_{23}^{(5)} = 67{,}88$; $b_{14}^{(5)} = 78{,}92$; $b_{24}^{(5)} = 87{,}96$; $b_{15}^{(5)} = 94{,}98$; $b_{25}^{(5)} = 100$;

$a_1^{(5)} = 0$; $a_2^{(5)} = 17{,}57$; $a_3^{(5)} = 45{,}67$; $a_4^{(5)} = 67{,}88$; $a_5^{(5)} = 87{,}96$; $c_1^{(5)} = 32{,}63$; $c_2^{(5)} = 56{,}71$; $c_3^{(5)} = 78{,}92$; $c_4^{(5)} = 94{,}98$; $c_5^{(5)} = 100$.

В результате чего для $\underset{\sim}{T}_{DR}^{(5)}$ (см. (13)) получим значения термов, числовые эквиваленты которых занесены в таблицы 2 (см. рис. 4).

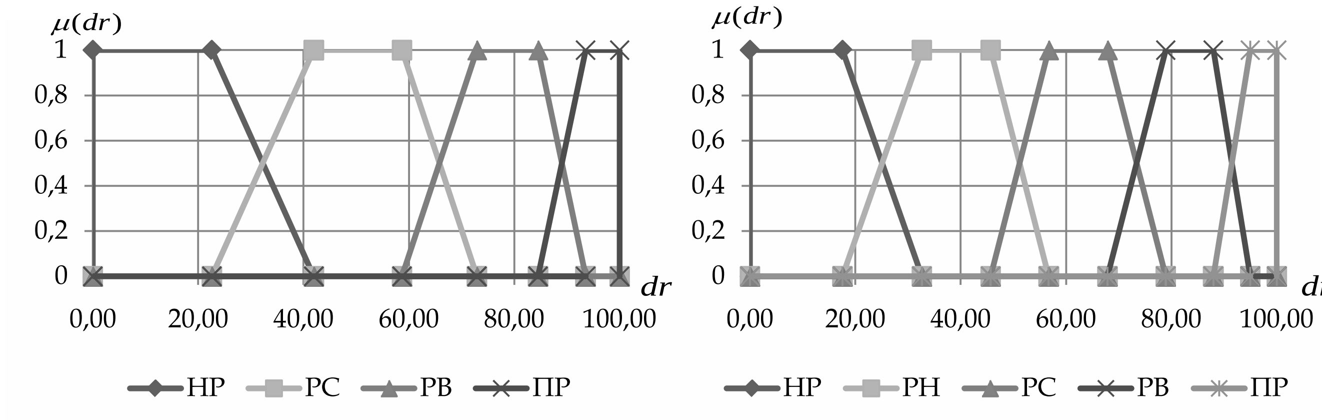

Рис. 4. Термы эталонных значений с убывающим типом распределения НЧ для ЛП ***DR*** при $\underset{\sim}{T}_{DR}^{(4)}$ и $\underset{\sim}{T}_{DR}^{(5)}$

Проверим условие убывания для $\underset{\sim}{T}_{DR}^{(5)}$: $\Omega_y =$ (17,57 - 0 > 45,67 – 32,63) Λ (45,67 – 32,63 > 67,88 – 56,71) Λ (67,88 – 56,71 > 87,96 – 78,92) Λ (87,96 – 78,92 > 100 – 94,98) Λ (32,63 – 17,57 > 56,71 – 45,67) Λ (56,71 – 45,67 > 78,92 – 67,88) Λ (78,92 – 67,88 > 94,98 – 87,96) = 1 Λ 1 Λ 1 Λ 1 Λ 1 Λ 1 Λ 1 = 1.

Как видно значения $\Omega_y = 1$ для $\underset{\sim}{T}_{DR}^{(5)}$, как и для $\underset{\sim}{T}_{DR}^{(4)}$ является истинным, что позволяет сделать вывод об адекватности преобразований.

Таким образом, представленный метод реализации функции трансформирования эталонов ЛП позволяет повысить эффективность работы системы анализа и оценивания рисков ИБ. Это осуществляется посредством решения задачи инкрементирования числа термов трапециевидных НЧ без привлечения экспертов соответствующей предметной области. Для расширения возможностей функции по реализации процесса трансформирования термов, нужно осуществить разработку соответствующих методов, использующих другие классы параметрических НЧ, например, треугольных.

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 понижения числа термов лингвистических переменных в задачах анализа и оценивания рисков / А.Г. Корченко, С.В. Казмирчук, Б.С. Ахметов, А.Ю. Гололобов, Н.А. Сейлова // Защита информации – 2014. – Т.16. – №4, жовтень-грудень. – С. 284-291.

[3] Казмирчук С.В. Метод n-кратного понижения порядка лингвистических переменных на основе частного расширения базы / С.В. Казмирчук, Б.С. Ахметов, А.Ю. Гололобов, С.А. Гнатюк, Н.А. Сейлова // Безпека інформації. – 2014. – Т.20. –№3. – С. 306-311.

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

[5] Казмирчук С.В. Метод трансформирования термов лингвистических переменных в задачах анализа и оценивания рисков информационной безопасности / С.В. Казмирчук // Защита информации – 2013. – Том 15 №3 (60). – С. 268-276.

УДК 004.056.5 (045)

Корченко О.Г., Ахмєтов Б.С., Казмірчук С.В., Гололобов А.Ю. Метод реалізації функції трансформування еталонів в задачах аналізу і оцінювання ризиків

Анотація. *Існує система аналізу та оцінювання ризиків інформаційної безпеки, яка ґрунтується на обробці лінгвістичних змінних. Ці змінні базуються на еталонних параметричних трапецієподібних нечітких числах з фіксованою кількістю*

терм-множин. Еталони визначаються експертами на етапі ініціалізації базових величин в процесі налаштування системи. Ефективність її використання підвищиться, якщо буде передбачена можливість корекції еталонів без залучення необхідних експертів. Для вирішення такого завдання пропонується метод реалізації функції трансформування еталонів лінгвістичних змінних на основі одноразового інкрементування числа термів з використанням експертних оцінок, зроблених на етапі налаштування системи. Це спростить процедуру коригування еталонів, за рахунок реалізації процесу однократного інкрементування числа термів для трапецієподібних нечітких чисел.
Ключові слова: *ризик, аналіз ризиків, оцінювання ризиків, система аналізу та оцінювання ризиків, нечітка змінна, функція трансформування термів лінгвістичних змінних, одноразове інкрементування, трапецієподібні нечіткі числа.*

Korchenko O., Akhmetov B., Kazmirchuk S., Gololobov A. Method of function realization for transformation etalons in risk analysis and assessment

Abstract. *The known information security assessment risk system (developed by authors) is based on processing methods of linguistic variables. These variables are based on the standard parametric trapezoidal fuzzy numbers with a fixed number of term sets. Etalons are defined by experts at the stage of base units initialization during setting-up system. Efficiency of its use would increase if it is available to correct etalons without the involvement of appropriate experts. To solve this problem authors propose a method of function realization for linguistic variables etalons transformation based on a single incrementation the terms number using expert estimates made during system setting-up. This will simplify the procedure for correcting etalons, by implementing a single process incrementation the number of terms for trapezoidal fuzzy numbers.*
Key words: *risk, risk assessment, risk evaluation, information security assessment risk system, fuzzy variable, function for linguistic variables etalons transformation, trapezoidal fuzzy numbers, single incrementation.*

Отримано *27 січня 2015 року*, затверджено редколегією *24 лютого 2015 року*