

КІБЕРБЕЗПЕКА ТА ЗАХИСТ КРИТИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ / CYBERSECURITY & CRITICAL INFORMATION INFRASTRUCTURE PROTECTION (CIIP)

DOI: 10.18372/2225-5036.29.18068

МЕТОД ФАЗИФІКАЦІЇ ІНТЕРВАЛІВ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ КІБЕРБЕЗПЕКОВОГО ОЦІНЮВАННЯ НА ОБ'ЄКТАХ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Богдан Моркляник¹, Олександр Корченко², Степан Кубів³,
Світлана Казмірчук⁴, Валентина Телющенко⁵

¹Національне агентство із забезпечення якості вищої освіти

^{2,3,4,5}Національний авіаційний університет



МОРКЛЯНИК Богдан Васильович, д.т.н.

Рік та місце народження: 1975 р., смт. Міжгір'я Закарпатської області, Україна.

Освіта: Національний університет «Львівська політехніка».

Посада: заступник голови Національного агентства із забезпечення якості вищої освіти України.

Наукові інтереси: комп'ютерна безпека, нейронні мережі, інтелектуальний аналіз даних, інтерактивні комп'ютерні системи, системи навчання, вища освіта.

Публікації: більше 60-ти наукових публікацій, серед яких наукові статті, монографії, підручники та навчально-методичні посібники.

E-mail: b.morklyanyk@nqa.gov.ua.

Orcid ID: 0009-0000-6564-6804.



КОРЧЕНКО Олександр Григорович, д.т.н., професор

Рік та місце народження: 1961 р., м. Київ, Україна.

Освіта: Київський інститут інженерів цивільної авіації (з 2000 року Національний авіаційний університет).

Посада: проректор з наукової роботи Національного авіаційного університету, професор Університету Комісії Народної Освіти (Краків, Польща)

Наукові інтереси: інформаційна та авіаційна безпека, вища освіта.

Публікації: понад 400 наукових публікацій, серед яких монографії, словники, енциклопедія, підручники, навчальні посібники, наукові статті та патенти на винаходи та ін.

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

Orcid ID: 0000-0003-3376-0631.



КУБІВ Степан Іванович, д.е.н.

Рік та місце народження: 1962 р., с. Мшанець, Зборівський район, Тернопільська область, Україна.

Освіта: ЛНУ імені Івана Франка і Національний університет «Львівська політехніка».

Посада: професор кафедри засобів захисту інформації Національного авіаційного університету.

Наукові інтереси: економічна безпека, безпека телекомунікаційних мереж, кібербезпека, штучний інтелект.

Публікації: більше 30 наукових публікацій, серед яких наукові статті, монографії, підручники та навчально-методичні посібники.

E-mail: vvkzeos@gmail.com.

Orcid ID: 0000-0002-2606-4550.



КАЗМІРЧУК Світлана Володимирівна, д.т.н., професор

Рік та місце народження: 1985, м. Алмати, Казахстан.

Освіта: Національний авіаційний університет.

Посада: професор кафедри безпеки інформаційних технологій Національного авіаційного університету.

Наукові інтереси: інформаційна безпека, управління інформаційною безпекою, оцінювання ризиків інформаційної безпеки.

Публікації: більше 120-ти наукових публікацій, серед яких наукові статті, монографії, підручники та навчально-методичні посібники.

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

Orcid ID: 0000-0001-6083-251X.



ТЕЛЮЩЕНКО Валентина Анатоліївна,

Рік та місце народження: 1977 р. м. Тараща Київської області, Україна.

Освіта: Київський міжнародний університет цивільної авіації (з 2000 року Національний авіаційний університет).

Посада: асистент кафедри комп'ютеризованих систем захисту інформації Національного авіаційного університету, аспірант.

Наукові інтереси: інформаційна безпека, комп'ютерна безпека, системи оцінювання ризиків інформаційної безпеки.

Публікації: більше 15-ти наукових публікацій.

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

Orcid ID: 0000-0001-6026-5105.

Анотація. Одним з нових та перспективних підходів до вирішення задачі кібербезпекового оцінювання на об'єктах критичної інфраструктури є використання теорії нечітких множин, наприклад, для оцінювання ризиків інформаційної безпеки. На практиці виникають ситуації, коли при розрахунку кінцевих результатів суттєво впливає неузгодженість думок або помилки експертів. Тому, для мінімізації такого роду помилок пропонується методи фазифікації інтервалів шляхом їх перетворення в нечіткі числа. Метод дозволяє забезпечити гнучкість та ефективність такого процесу трансформації інтервалів і зводить до мінімуму вплив людського чинника. Відомі методи перетворення інтервалів в трикутні та трапецієподібні нечіткі числа, але вони не завжди дають прийнятний результат. Тому пропонується новий метод фазифікації, в якому за рахунок реалізації процедур визначення коефіцієнта зближеності та формування медіан інтервалів, визначення параметра зсуву та коефіцієнта розтягнення, а також процедури формування еталонів, дозволяє забезпечити гнучкість процесу перетворення для отримання трикутних та трапецієподібних НЧ, що відображають значення початкових інтервалів. Розроблений метод надалі може ефективно використовуватись для вирішення задач кібербезпекового оцінювання на об'єктах критичної інфраструктури.

Ключові слова: інформаційна безпека, кібербезпека, кібербезпекове оцінювання, об'єкти критичної інфраструктури, фазифікація інтервалів, нечіткі множини.

Постановка проблеми

У сучасному цифровому світі, де технологічний прогрес постійно набирає обертів, кібербезпека стає надзвичайно актуальною проблемою. З кожним днем збільшується кількість кіберзагроз, які можуть впливати на організації, громадян і навіть національну безпеку. Особливої актуальності набувають задачі кібербезпекового оцінювання на об'єктах критичної інфраструктури, ефективне вирішення яких залишається викликом для багатьох відомств та держави в цілому.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Одним з нових та перспективних підходів до вирішення таких задач, заснованих на експертних оцінюваннях, є використання теорії нечітких множин [1-4], наприклад, для оцінювання ризиків інформаційної безпеки [5]. Цей підхід дозволяє моделювати нечіткості та невизначеності в кібербезпековому контек-

сті, надаючи можливість ефективно оцінювати загрози та їхні наслідки.

Мета та постановка завдання

Зрозуміло, що зростання кількості кіберзагроз об'єктам критичної інфраструктури вимагає нових інноваційних підходів до їхнього виявлення та управління. Використання теорії нечітких множин є одним із способів досягнення цієї мети та може допомогти організаціям збільшити ефективність їхніх кібербезпекових заходів. При вирішенні задач експертного оцінювання, заснованого на використанні теорії нечітких множин виникає потреба в фазифікації початкових даних для подальшої їх обробки методами нечіткої логіки [6].

Виклад основного матеріалу дослідження

Так, наприклад, для відображення загального результату оцінки кіберзагрози за еталоне значенням використовується лінгвістична змінна (ЛЗ) "РІВЕНЬ

ЗАГРОЗИ” (TL), яку визначимо кортежем [6] $\langle TL, T_{TL}, X_{TL} \rangle$, де базова терм-множина визначається n термами. Для кожного з термів вигляду:

$$\tilde{T}_{TL} = \bigcup_{i=1}^n \tilde{T}_{TL_i},$$

відповідно задається свій інтервал значень, що лежить в межах $[tl_i; tl_{n+1}]$ та складається з початкових інтервалів $[tl_i; tl_2], \dots, [tl_i; tl_{i+1}], \dots, [tl_n; tl_{n+1}]$. Інтерпретація значень інтервалів реалізується експертами на основі своїх суджень. На практиці виникають ситуації, коли така інтерпретація (в подальшому оцінка) може призвести до неточностей при розрахунку кінцевих результатів через неузгодженість думок або помилки експертів. Тому, автоматизацію цього процесу для мінімізації такого роду помилок пропонується здійснити за допомогою розробки методу перетворення інтервалів в нечіткі числа (НЧ), який в подальшому дозволить забезпечити гнучкість та ефективність такого процесу трансформації і зведе до мінімуму вплив людського чинника.

В роботі [6] пропонується методи перетворення інтервалів в трикутні та трапецієподібні НЧ, але при $n \leq 3$ вони не завжди дають прийнятний результат і не дозволяють забезпечити гнучкість формування LR-чисел (трикутних, трапецієподібних) шляхом ефективного регулювання меж розмитості за рахунок можливості варіації верхньою основою трапеції при реалізації методів кібербезпеченого оцінювання, заснованого на теорії нечітких множин.

При обробці експертних даних часто використовуються трикутні та трапецієподібні НЧ. Наприклад, реалізуємо перетворення (фазифікацію) інтервалів в НЧ виду $\tilde{T}_i = (a_i; b_{1i}; b_{2i}; c_i)$, де \tilde{T}_i – терм-множини ($i = \overline{1, n}$, n – кількість термів), а a_i, c_i і b_{1i}, b_{2i} – відповідно абсциси нижньої і верхньої основи трапецієподібного НЧ.

Роботу методу фазифікації інтервалів $[tl_i; tl_2], \dots, [tl_i; tl_{i+1}], \dots, [tl_n; tl_{n+1}]$, шляхом їх перетворення в НЧ подамо у вигляді послідовності наступних етапів.

Етап 1. Визначення коефіцієнта зближеності (коефіцієнта схожості) інтервалів.

На першому етапі експертним шляхом визначається коефіцієнт зближення інтервалів (CF) на проміжку $[0; 0,5]$. Тобто, $CF \in [0; 0,5]$ шляхом впливу на значення b_{1i} та b_{2i} , відображає цілковиту впевненість експерта (значення функції належності $\mu(tl) = 1$) щодо меж належності певного інтервалу до обраного значення ЛЗ.

Етап 2. Визначення медіан інтервалів (термів).

На цьому етапі визначаються медіани M_i для кожного i -го інтервалу (терму), де $i = \overline{1, n}$, а n їх кількість:

$$M_i = \frac{tl_i + tl_{i+1}}{2}. \quad (1)$$

Етап 3. Визначення параметра зсуву.

Тут реалізується обчислення величини, на яку буде здійснено лівий зсув отриманих значень НЧ:

$$SP = M_1 - CF(tl_2 - tl_1). \quad (2)$$

Етап 4. Визначення коефіцієнта розтягнення.

Коефіцієнт розтягнення SC – використовується для корегування величини термів в межах значень $[tl_i; tl_{n+1}]$:

$$SC = \frac{tl_{n+1}}{M_n + CF(tl_{n+1} - tl_n) - SP}, \quad (3)$$

де n – кількість інтервалів (термів).

Етап 5. Формування еталонів.

На цьому завершальному етапі за допомогою формул (4)-(7) реалізується перетворення початкових інтервалів у НЧ:

$$b_{1i} = SC(M_i - CF(tl_{i+1} - tl_i) - SP), \quad (i = \overline{1, n}); \quad (4)$$

$$b_{2i} = SC(M_i + CF(tl_{i+1} - tl_i) - SP), \quad (i = \overline{1, n}); \quad (5)$$

$$a_1 = tl_1; \quad a_i = b_{2i-1}, \quad (i = \overline{2, n}); \quad (6)$$

$$c_n = tl_{n+1}; \quad c_i = b_{i+1}, \quad (i = \overline{1, n-1}). \quad (7)$$

Розглянемо роботу методу на конкретних прикладах. За початкові дані, з урахуванням можливості подальшої верифікації, будемо використовувати інтервали з рівномірним, нерівномірним, прогресивним і регресивним типом розподілу [5] при $n = 5$ (табл. 1, рис. 1).

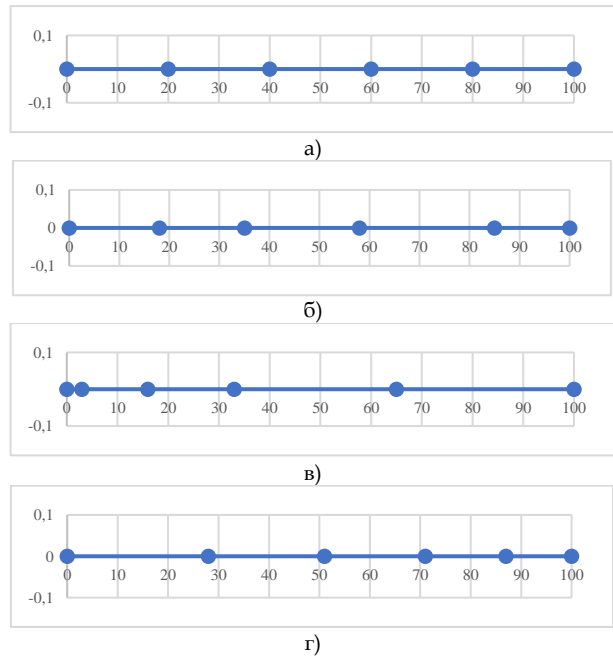


Рис. 1. Графічне зображення значень інтервалів рівномірного (а), нерівномірного (б), прогресивного (в) та регресивного (г) типу розподілу

Приклад 1 – рівномірний тип розподілу

Нехай ЛЗ TL було визначено на основі інтервалів із табл. 1. Для отримання числових значень \tilde{T}_{TL_i} , $i = \overline{1, 5}$ скористаємось рівномірним типом розподілу НЧ, тобто для яких буде істинною умова рівномірності [5]:

$$\Omega_p = (tl_2 - tl_1 = tl_3 - tl_2) \wedge (tl_3 - tl_2 = tl_4 - tl_3) \wedge (tl_4 - tl_3 = tl_5 - tl_4) \wedge (tl_5 - tl_4 = tl_6 - tl_5) = (20 - 0 = 40 - 20) \wedge (40 - 20 = 60 - 40) \wedge (60 - 40 = 80 - 60) \wedge (80 - 60 = 100 - 80) = 1 \wedge 1 \wedge 1 \wedge 1 = 1.$$

Таблиця 1

Приклади значень інтервалів при $n=5$

Тип розподілу	$[tl_1; tl_2]$	$[tl_2; tl_3]$	$[tl_3; tl_4]$	$[tl_4; tl_5]$	$[tl_5; tl_6]$
Рівномірний	[0; 20]	[20; 40]	[40; 60]	[60; 80]	[80; 100]
Нерівномірний	[0; 18]	[18; 35]	[35; 58]	[58; 85]	[85; 100]
Прогресний	[0; 3]	[3; 16]	[16; 33]	[33; 65]	[65; 100]
Регресний	[0; 28]	[28; 51]	[51; 71]	[71; 87]	[87; 100]

Як бачимо, $\Omega_p = 1$, отже, інтервали TL відповідають рівномірному типу розподілу.

Для фазифікації представлених інтервалів, здійснюємо їх перетворення відповідно до (1) - (7).

Етап 1

На першому етапі визначимо коефіцієнт $CF = 0,25$, який буде відображати впевненість експерта щодо меж належності інтервалу до обраного значення ЛЗ на рівні 50%. Тобто, в межах $[tl_i; tl_{i+1}] = [0; 100]$, половина всіх значень $\mu(tl) = 1$.

Етап 2

Обчислимо значення медіан інтервалів за формулою (1): $M_1 = (tl_1 + tl_2)/2 = (20+0) / 2 = 10$; $M_2 = 30$; $M_3 = 50$; $M_4 = 70$; $M_5 = 90$.

Етап 3

Далі, обчислимо параметр зсуву з використанням (2): $SP = M_1 - C(tl_2 - tl_1) = 10 - 0,25(20 - 0) = 5$.

Етап 4

Наступним, за допомогою (3) визначається коефіцієнт розтягнення: $SC = \frac{tl_6}{M_5 + CF(tl_6 - tl_5) - SP} = 100 / (90 + 0,25(100 - 80) - 5) = 1,1$.

Етап 5

Далі, формуємо еталони НЧ для ЛЗ TL за допомогою (4) - (7): $b_{11} = SC(M_1 - CF(tl_2 - tl_1) - SP) = 0$, $b_{21} = SC(M_1 + CF(tl_2 - tl_1) - SP) = 11,11$ і т. д.; $a_1 = 0$, $a_2 = b_{21} = 11,11$, $a_3 = 33,33$, $a_4 = 55,55$, $a_5 = 77,77$; $c_1 = b_{12} = 22,22$, $c_2 = 44,44$, $c_3 = 66,66$, $c_4 = 88,88$, $c_5 = 100$.

Маємо результати фазифікації інтервалів для рівномірно розподілених НЧ (табл. 2).

Для перевірки відповідності властивості рівномірності НЧ скористаємось відповідною умовою із [5] для $T_{TL}^{(5)}$: $\Omega_p = (11,11 - 0 = 33,33 - 22,22) \wedge (33,33 - 22,22 = 55,55 - 44,44) \wedge (55,55 - 44,44 = 77,77 - 66,66) \wedge (77,77 - 66,66 = 100 - 88,88) \wedge (22,22 - 11,11 = 44,44 - 33,33) \wedge (44,44 - 33,33 = 66,66 - 55,55) \wedge (66,66 - 55,55 = 88,88 - 77,77) = 1$.

Як бачимо, для $T_{TL}^{(5)}$ значення $\Omega_p = 1$, що говорить про еквівалентність виконаних перетворень. Наведена графічна інтерпретація сформованих рівномірно розподілених НЧ $T_{TL}^{(5)}$ (рис. 2).

Таблиця 2

Результати фазифікації інтервалів

Тип розподілу НЧ	НЧ $T_{TL_i} = (a_i; b_{1i}; b_{2i}; c_i)_{LR}, (i = \overline{1,5})$				
	T_{TL_1}	T_{TL_2}	T_{TL_3}	T_{TL_4}	T_{TL_5}
Рівномірний	(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; 100; 100) _{LR}
Нерівномірний	(0; 0; 9,81; 19,35) _{LR}	(9,18; 19,35; 28,61; 39,51) _{LR}	(28,61; 39,51; 52,04; 65,67) _{LR}	(52,04; 65,67; 80,38; 91,83) _{LR}	(80,38; 91,83; 100; 100) _{LR}
Прогресний	(0; 0; 1,66; 6,08) _{LR}	(1,66; 6,08; 13,26; 21,55) _{LR}	(13,26; 21,55; 30,94; 44,48) _{LR}	(30,94; 44,48; 62,15; 80,66) _{LR}	(62,15; 80,66; 100; 100) _{LR}
Регресний	(0; 0; 15,6; 29,81) _{LR}	(15,60; 29,81; 42,62; 54,60) _{LR}	(42,62; 54,6; 65,74; 75,77) _{LR}	(65,74; 75,77; 84,68; 92,76) _{LR}	(84,68; 92,76; 100; 100) _{LR}

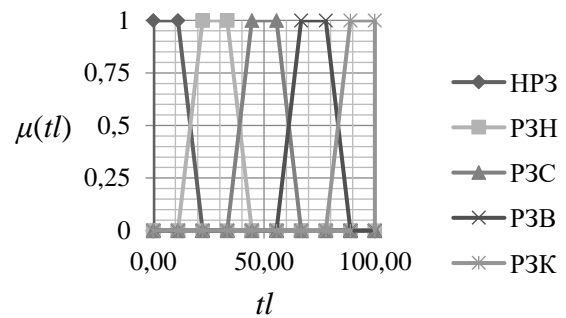


Рис. 2. Терми значень сформованих рівномірно розподілених НЧ для ЛЗ $T_{TL}^{(5)}$, де відповідно НРЗ - незначний рівень загрози, РЗН - рівень загрози низький, РЗС - рівень загрози середній, РЗВ - рівень загрози високий, РЗК - рівень загрози критичний

Приклад 2 - нерівномірний тип розподілу

Розглянемо роботу методу на прикладі нерівномірно розподілених за віссю tl інтервалів з їх числовими еквівалентами (див. в табл. 1), тобто для яких буде істинною умова нерівномірності [5]: $\Omega_n = (tl_2 - tl_1 \neq tl_3 - tl_2) \vee (tl_3 - tl_2 \neq tl_4 - tl_3) \vee (tl_4 - tl_3 \neq tl_5 - tl_4) \vee (tl_5 - tl_4 \neq tl_6 - tl_5) = (18 - 0 \neq 35 - 18) \vee (35 - 18 \neq 58 - 35) \vee (58 - 35 \neq 85 - 58) \vee (85 - 58 \neq 100 - 55) = 1 \vee 1 \vee 1 \vee 1 = 1$.

Як бачимо, умова нерівномірності істинна ($\Omega_n = 1$). Це говорить про відповідність інтервалів TL такому типу розподілу як нерівномірний. Далі, виконаємо розрахунок у відповідності із етапами 1-5 методу фазифікації інтервалів шляхом їх перетворення в НЧ.

Етап 1

Визначимо коефіцієнт схожості $CF = 0,25$.

Етап 2

Визначимо значення медіан інтервалів за формулою (1): $M_1 = 9; M_2 = 26,5; M_3 = 46,5; M_4 = 71,5; M_5 = 92,5$.

Етап 3

У відповідності з (2) обчислимо параметр зсуву: $SP = 4,5$.

Етап 4

Знаходимо за допомогою (3) коефіцієнт розтягнення: $SC = 1,09$.

Етап 5

Реалізуємо формування еталонних НЧ для ЛЗ TL (4) - (7): $b_{11} = 0; b_{21} = 9,81$ і т.д. $a_1 = 0; a_2 = b_{21} = 9,81; a_3 = 28,61; a_4 = 52,04; a_5 = 80,38; c_1 = b_{12} = 19,35; c_2 = 39,51; c_3 = 65,67; c_4 = 91,83; c_5 = 100$.

Всі отримані результати занесемо до таблиці (табл. 2). Після проведених перетворень обчислимо Ω_n для $T_{TL}^{(5)}$: $\Omega_n = (9,81 - 0 \neq 28,61 - 19,35) \vee (28,61 - 19,35 \neq 52,04 - 39,51) \vee (52,04 - 39,51 \neq 80,38 - 65,67) \vee (80,38 - 65,67 \neq 100 - 91,83) + (19,35 - 9,81 \neq 39,51 - 28,61) \vee (39,51 - 28,61 \neq 65,76 - 52,04) \vee (65,67 - 52,04 \neq 91,83 - 80,38) = 1$.

Умова нерівномірності $T_{TL}^{(5)}$ істинна ($\Omega_n = 1$), що говорить про еквівалентність виконаних перетворень. Наведена графічна інтерпретація сформованих нерівномірно розподілених НЧ $T_{TL}^{(5)}$ (рис. 3).

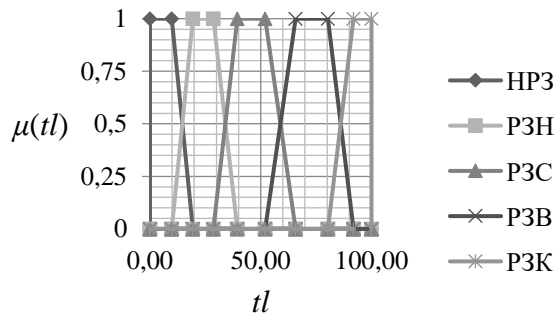


Рис. 3. Терми значень сформованих нерівномірно розподілених НЧ для ЛЗ TL $T_{TL}^{(5)}$

Приклад 3 – прогресний тип розподілу

Продемонструємо роботу представленого методу для інтервалів, числові значення яких $T_{TL_i}^{(5)}$, $i = \overline{1,5}$ із табл. 1 мають прогресний тип розподілу за віссю tl , тобто для якого істинним є умова прогресії [5]: $\Omega_n = (tl_2 - tl_1 < tl_3 - tl_2) \wedge (tl_3 - tl_2 < tl_4 - tl_3) \wedge (tl_4 - tl_3 < tl_5 - tl_4) \wedge (tl_5 - tl_4 < tl_6 - tl_5) = (3 - 0 < 16 - 3) \wedge (16 - 3 < 33 - 16) \wedge (33 - 16 < 65 - 33) \wedge (65 - 33 < 100 - 65) = 1 \wedge 1 \wedge 1 \wedge 1 = 1$.

Як видно, умова $\Omega_n = 1$ істинна, то інтервали відповідають прогресному типу розподілу.

За аналогією з прикладом для рівномірно розподілених значень інтервалів здійснимо, у відповідності з етапами 1-5 запропонованого методу, необхідні перетворення.

Етап 1

На цьому етапі також скористаємось коефіцієнтом схожості інтервалів $CF = 0,25$.

Етап 2

Обчислимо медіани інтервалів за формулою (1): $M_1 = 1,5; M_2 = 9,5; M_3 = 24,5; M_4 = 49; M_5 = 82,5$.

Етап 3

Визначимо параметр зсуву за допомогою (2): $SP = 0,75$.

Етап 4

Обрахуємо коефіцієнт розтягнення за (3): $SC = 1,1$.

Етап 5

Реалізуємо формування еталонних НЧ для ЛЗ TL (4) - (7): $b_{11} = 0; b_{21} = 1,66$ і т.д. $a_1 = 0; a_2 = b_{21} = 1,66; a_3 = 13,26; a_4 = 30,94; a_5 = 62,15; c_1 = b_{12} = 6,08; c_2 = 21,55; c_3 = 44,48; c_4 = 80,66; c_5 = 100$.

Всі отримані результати занесемо до таблиці (табл. 2), а графічна інтерпретація фазифікації інтервалів зображена нижче (рис. 4).

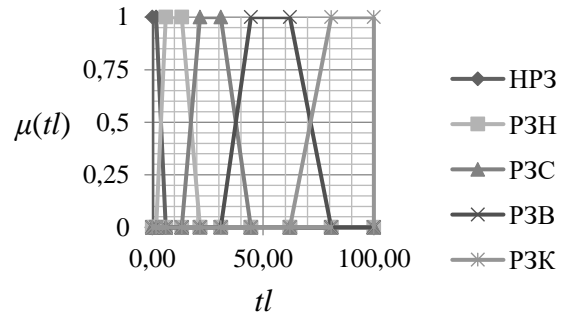


Рис. 4. Терми значень сформованих НЧ з прогресним типом розподілу для ЛЗ TL $T_{TL}^{(5)}$

Далі перевіримо умову зростання для $T_{TL}^{(5)}$ [5]: $\Omega_n = (b_{21} - b_{11} < b_{22} - b_{12}) \wedge (b_{22} - b_{12} < b_{23} - b_{13}) \wedge (b_{23} - b_{13} < b_{24} - b_{14}) \wedge (b_{24} - b_{14} < b_{25} - b_{15}) \wedge (b_{12} - b_{21} < b_{13} - b_{22}) \wedge (b_{13} - b_{22} < b_{14} - b_{23}) \wedge (b_{14} - b_{23} < b_{15} - b_{24}) = (1,66 - 0 < 13,26 - 6,08) \wedge (13,26 - 6,08 < 30,94 - 21,55) \wedge (30,94 - 21,55 < 62,15 - 44,48) \wedge (62,15 - 44,48 < 100 - 80,66) \wedge (6,08 - 1,66 < 21,55 - 13,26) \wedge (21,55 - 13,26 < 44,48 - 30,94) \wedge (44,48 - 30,94 < 80,66 - 62,16) = 1 \wedge 1 \wedge 1 \wedge 1 \wedge 1 \wedge 1 \wedge 1 \wedge 1 = 1$.

Як бачимо, значення $\Omega_n = 1$ для $T_{TL}^{(5)}$ є істинним, що говорить про адекватність виконаних перетворень.

Приклад 4 – регресний тип розподілу

Реалізуємо фазифікацію інтервалів, які приймають значення (табл. 1) і мають регресний тип розподілу за віссю tl , тобто для яких істинною є умова регресії [5]: $\Omega_{per} = (tl_2 - tl_1 > tl_3 - tl_2) \wedge (tl_3 - tl_2 > tl_4 - tl_3) \wedge (tl_4 - tl_3 > tl_5 - tl_4) \wedge (tl_5 - tl_4 > tl_6 - tl_5) = (28 - 0 > 51 - 28) \wedge (51 - 28 > 71 - 51) \wedge (71 - 51 > 87 - 71) \wedge (87 - 71 > 100 - 87) = 1 \wedge 1 \wedge 1 \wedge 1 = 1$.

Як бачимо, значення $\Omega_{per} = 1$ істинна, що свідчить про відповідність інтервалів регресному типу розподілу.

Реалізуємо у відповідності з етапами 1-5 фазифікацію інтервалів.

Етап 1

Нехай, коефіцієнтом схожості інтервалів залишається $CF=0,25$.

Етап 2

Визначимо медіани інтервалів для цього скористаємось (1): $M_1=14; M_2=39,5; M_3=61; M_4=79; M_5=93,5$.

Етап 3

За допомогою (2) обчислимо параметр зсуву: $SP=7$.

Етап 4

Знайдемо коефіцієнт розтягнення за допомогою (3): $SC=1,1$.

Етап 5

Сформуємо еталонні НЧ для ЛЗ TL (4) - (7): $b_{11}=0; b_{21}=15,6$ і т.д. $a_1=0; a_2=b_{21}=15,6; a_3=42,62; a_4=65,74; a_5=84,68; c_1=b_{12}=29,81; c_2=54,6; c_3=75,77; c_4=92,76; c_5=100$.

Всі отримані результати занесемо до таблиці (табл. 2), представлені відповідні фазифіковані значення (рис. 5).

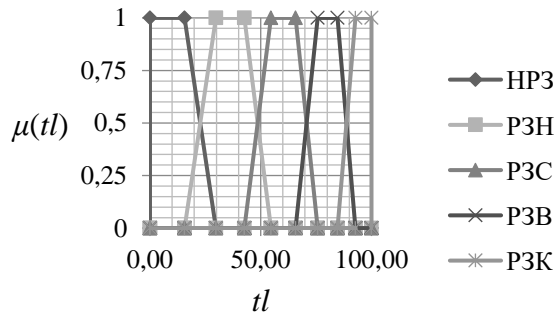


Рис. 5. Терми значень сформованих НЧ з регресним типом розподілу для ЛЗ TL ■($T@~$)_TL^(5)

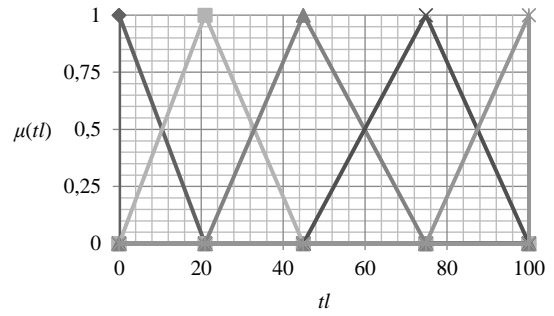
Перевіримо умову регресії для $T_{TL}^{(5)}$ [5], тобто: $\Omega_{per} = (15,6 - 0 > 42,62 - 29,81) \wedge (42,62 - 29,81 > 65,74 - 54,6) \wedge (65,74 - 54,6 > 84,68 - 75,77) \wedge (84,68 - 75,77 > 100 - 92,76) \wedge (29,81 - 15,6 > 54,6 - 42,62) \wedge (54,6 - 42,62 > 75,77 - 65,74) \wedge (75,77 - 65,74 > 92,76 - 84,68) = 1 \wedge 1 \wedge 1 \wedge 1 \wedge 1 \wedge 1 \wedge 1 \wedge 1 = 1$.

Як видно, значення $\Omega_{per} = 1$ для $T_{TL}^{(5)}$ є істинним, що дозволяє зробити висновок про адекватність перетворень.

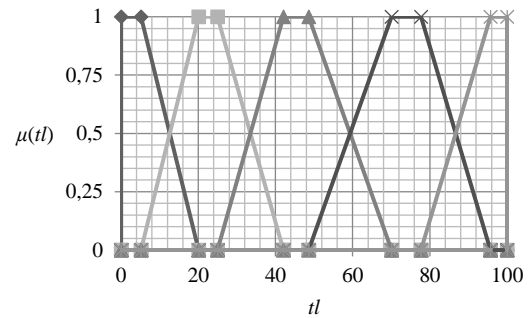
Далі, на прикладі фазифікації інтервалів з нерівномірним типом розподілу розглянемо варіації значення CF та отримаємо відповіді, які будуть демонструвати різну впевненість експерта щодо належності заданого інтервалу значенням обраної ЛЗ.

Представлено графічне зображення еталонних НЧ при різних значеннях CF (рис. 6).

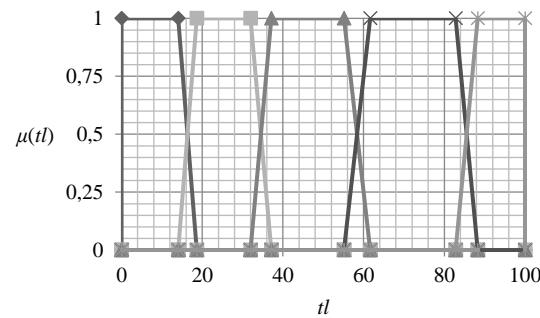
$CF=0$:



$CF=0,125$:



$CF=0,375$:



$CF=0,5$:

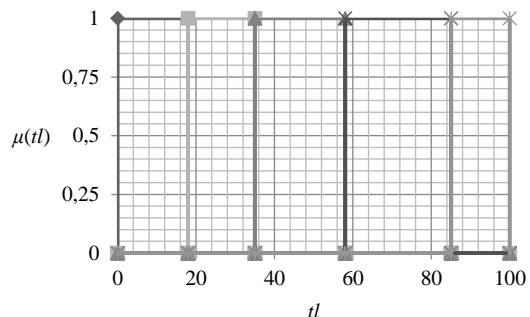


Рис. 6. Графічне представлення фазифікованих інтервалів при різних значеннях CF

Як зазначалося CF використовується для відображення впевненості експерта у приналежності заданого інтервалу до відповідного терму обраної ЛЗ і приймає значення від 0 до 0,5 (повна ідентичність). При $CF = 0,5$ всі значення $\mu(tl) = 1$, тобто на 100% співпадає зі значеннями початкових інтервалів. У такому випадку можна говорити, що процедура фазифікації буде виродженою, тобто оригінал і фазифікований образ співпадають.

При $CF = 0$ процес фазифікації інтервалів зводиться до формування трикутних НЧ, оскільки $b_{i1}=b_{2i}$ ($i = 1, n$) і, в такому випадку, кількість значень $\mu(tl) = 1$ для відповідної ЛЗ буде дорівнювати n . Тобто, при $CF = 0$, експерт на 100% впевнений, що для певного терму, який відображається НЧ існує тільки одне значення $\mu(tl) = 1$. В наведених прикладах при $CF = 0$ для TL буде $n = 5$ значень, при яких $\mu(tl) = 1$.

Висновки. З рис. 6 видно, як саме цей коефіцієнт впливає на вигляд термів ЛЗ. Чим більше перекриття, тим більше сумарне значення початкових інтервалів, що відображаються у верхній основі трапеції НЧ для яких $\mu(tl) = 1$. Наприклад, для коефіцієнта 0,25 таке значення буде займати половину інтервалу $[tl_i; tl_{i+1}]$ для ЛЗ. Цей підхід дозволяє візуалізувати ступінь впевненості експерта в належності значень до обраної ЛЗ та відобразити цю впевненість на підставі CF .

Таким чином, запропонований метод фазифікації, в якому за рахунок реалізації процедур визначення коефіцієнта зближеності та формування медіан інтервалів, визначення параметра зсуву та коефіцієнта розтягнення, а також процедури формування еталонів, дозволяє забезпечити гнучкість процесу перетворення для отримання трикутних та трапеціє-

подібних НЧ, що відображають значення початкових інтервалів.

Розроблений метод надалі може ефективно використовуватись для вирішення задач кібербезпекового оцінювання на об'єктах критичної інфраструктури.

Список літератури

[1]. A. Korchenko, V. Breslavskiy, S. Yevseiev, N. Zhumangalieva, A. Zvarych, S. Kazmirchuk, O. Kurchenko, O. Laptiev, O. Sievierinov, S. Tkachuk, Development of a method for constructing linguistic standards for multi-criteria assessment of honeypot efficiency, Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2021. Vol.111. №3/9. pp. 63-83.

[2]. С. П. Євсєєв, О. В. Шматко, Н. В. Ромащенко, Алгоритм оцінювання ступеня ризику інформаційної безпеки, що базується на нечіткомножинному підході, Сучасні інформаційні системи, 2019. Т. 3, № 2. С. 73-79.

[3]. О. В. Кочетков, Т. О. Гаур, В. М. Машін, Система оцінки ризиків інформаційної безпеки підприємства на основі нечіткої логіки, Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. 2019., № 1. С. 97-104.

[4]. А.О. Корченко, Методи ідентифікації аномальних станів для систем виявлення вторгнень, Монографія, Київ, ЦП «Компринт», 2019, 361 с.

[5]. О.Г. Корченко, С.В. Казмірчук, Б.Б. Ахметов, Прикладні системи оцінювання ризиків інформаційної безпеки. Монографія, Київ, ЦП «Компринт», 2017, 435 с.

[6]. А.Г. Корченко Построение систем защиты информации на нечетких множествах. Теория и практические решения, Киев. «МК-Пресс», 2006, 320 с.

УДК 004.056.5(045)

Morklyanik B., Korchenko O., Kubiv S., Kazmirchuk S., Teliushchenko V. The method of phasification of intervals for solving cybersecurity assessment tasks at critical infrastructure facilities

Abstract. One of the new and promising approaches to solving the problem of cybersecurity assessment at critical infrastructure facilities is the use of fuzzy sets theory, for example, to assess information security risks. In practice, there are situations when the calculation of the final results is significantly affected by inconsistencies in opinions or errors of experts. Therefore, to minimize such errors, we propose methods for phasing intervals by converting them into fuzzy numbers (FNs). The method allows for the flexibility and efficiency of such a process of transforming intervals and minimizes the influence of the human factor. There are known methods for converting intervals into triangular and trapezoidal fuzzy numbers, but they do not always give an acceptable result. Therefore, a new method of fuzzification is proposed, which, by implementing procedures for determining the coefficient of convergence and forming the medians of intervals, determining the shift parameter and stretching coefficient, as well as the procedure for forming standards, allows for the flexibility of the conversion process to obtain triangular and trapezoidal FN that reflect the values of the original intervals. The developed method can be effectively used to solve cybersecurity assessment problems at critical infrastructure facilities.

Keywords: information security, cybersecurity, cybersecurity assessment, critical infrastructure facilities, interval phasing, fuzzy sets.

Моркляник Богдан Васильович, д.т.н., заступник голови Національного агентства із забезпечення якості вищої освіти України.

Bohdan Morklyanik, Dr. in Technical Sciences, Deputy head of the National Agency for Quality Assurance of Higher Education, Ukraine.

Корченко Олександр Григорович, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, Заслужений діяч науки і техніки України, доктор технічних наук, професор, проректор з наукової роботи Національного авіаційного університету, професор Університету Комісії Народної Освіти (Краків, Польща).

Oleksandr Korchenko, laureate of the State Prize of Ukraine in the field of Science and Technology, Honored Worker of Science and Technology of Ukraine, Dr. Hub. (Eng), Professor, Vice-Rector for Research, National Aviation University, Professor of the National Education Commission of the University, Krakow, Poland.

Кубів Степан Іванович, д.е.н., професор кафедри системи захисту інформації Національного авіаційного університету.

Stepan Kubiv, Dr. in Economics, Professor of the Department of Information Protection System, National Aviation University, Kyiv, Ukraine.

Казмірчук Світлана Володимирівна, доктор технічних наук, професор, професор кафедри безпеки інформаційних технологій Національного авіаційного університету.

Svitlana Kazmirchuk, Dr Eng (Information security), Professor, Professor of IT-Security Academic Department, National Aviation University, Kyiv, Ukraine.

Телющенко Валентина Анатоліївна, асистент кафедри комп'ютеризованих систем захисту інформації Національного авіаційного університету, аспірант

Valentyna Teliushchenko, Assistant of Computerised Information Protection Systems Department, post-graduate, National Aviation University, Kyiv, Ukraine.

Отримано 16 вересня 2023 року, затверджено редколегією 30 жовтня 2023 року
