

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**

Кафедра кібернетики хіміко-технологічних процесів

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ И ТЕОРИИ
НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ**

Безносик Ю.А., Бугаева Л.Н., Статюха Г.А.



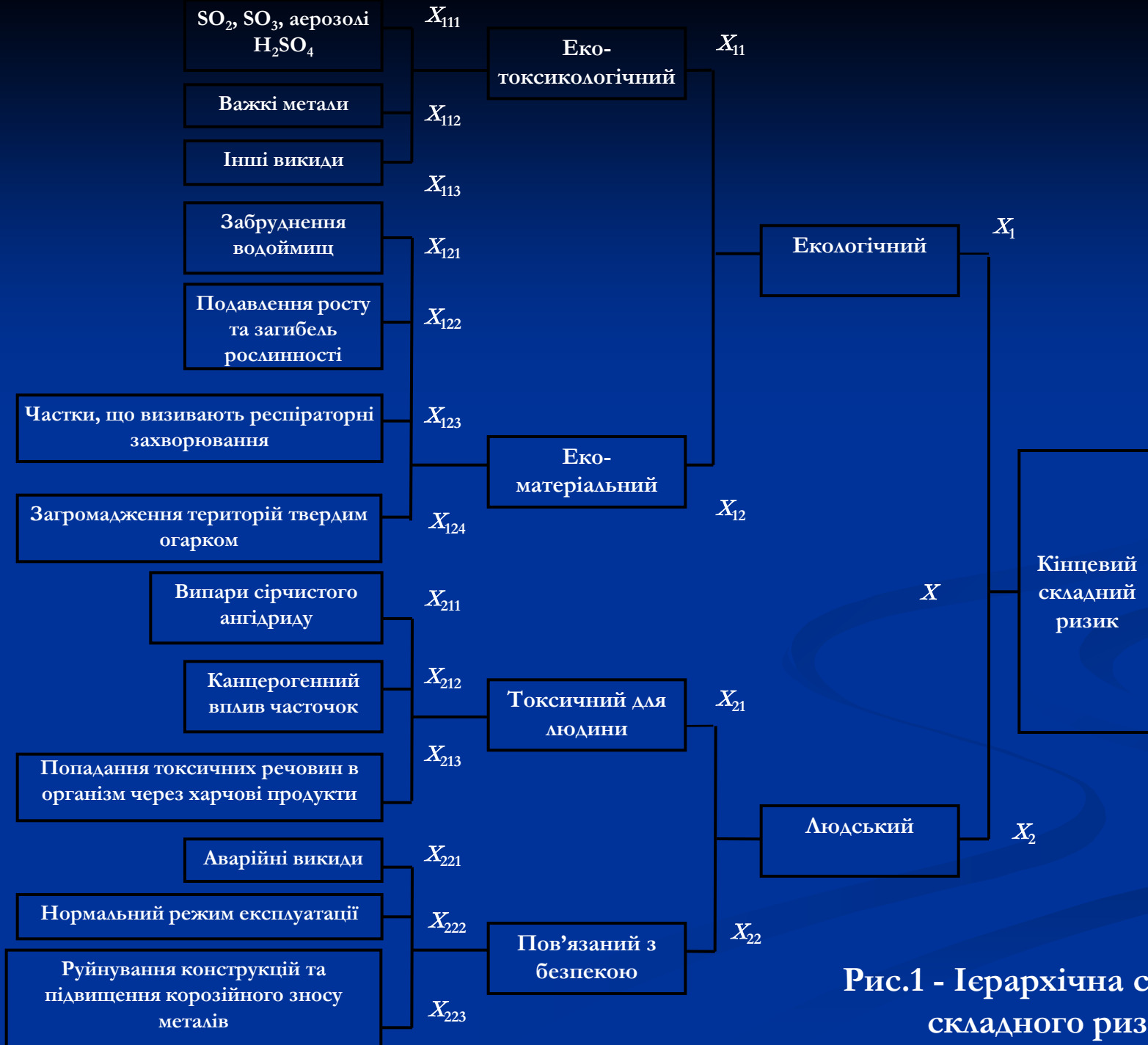


Рис.1 - Ієрархічна структура складного ризику

Таблиця 1 - Лінгвістична класифікація степеня та значимості ризику та відповідні їм трикутні нечіткі числа (TFN)

Рівень ранжирування (<i>l</i>)	Якісне позначення для степеня ризику (<i>r</i>)	Якісне позначення для значимості ризику (<i>r</i>)	Трикутні нечіткі числа (TFN)
1	Абсолютно низький	Абсолютно незначимий	(0.0, 0.0, 0.1)
2	Критично низький	Критично незначимий	(0.0, 0.1, 0.2)
3	Дуже низький	Дуже незначимий	(0.1, 0.2, 0.3)
4	Низький	Незначимий	(0.2, 0.3, 0.4)
5	Нижче нормального	Нижче нормального	(0.3, 0.4, 0.5)
6	Нормальний	Нормальний	(0.4, 0.5, 0.6)
7	Вище нормального	Вище нормального	(0.5, 0.6, 0.7)
8	Високий	Значимий	(0.6, 0.7, 0.8)
9	Дуже високий	Дуже значимий	(0.7, 0.8, 0.9)
10	Критично високий	Критично значимий	(0.8, 0.9, 1.0)
11	Абсолютно високий	Абсолютно значимий	(0.9, 1.0, 1.0)

Функції приналежності 11 трикутних нечітких чисел:

$$\mu_{N_1}(x) = \begin{cases} 1-10x, & 0 \leq x \leq 0.1, \\ 0, & 0.1 \leq x \leq 1, \end{cases}$$

$$\mu_{N_l}(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x < \frac{l-2}{10}, \\ 10x - (l-2), & \frac{l-2}{10} \leq x < \frac{l-1}{10}, \\ l-10x, & \frac{l-1}{10} \leq x \leq \frac{l}{10}, \\ 0, & \frac{l}{10} \leq x \leq 1, \end{cases} \quad (1)$$

$$l = (2, 3, \dots, 10)$$

$$\mu_{N_{11}}(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x \leq 0.9, \\ 10x-9, & 0.9 \leq x \leq 1, \end{cases}$$

$$\text{Ризик} = \text{ступінь ризику}(r) \times \text{значимість ризику}(i) \quad (2)$$

$$g(r, i) = \frac{\int_a^b x \mu_{N_r \otimes N_i}(x) dx}{\int_a^b \mu_{N_r \otimes N_i}(x) dx} \quad (3)$$

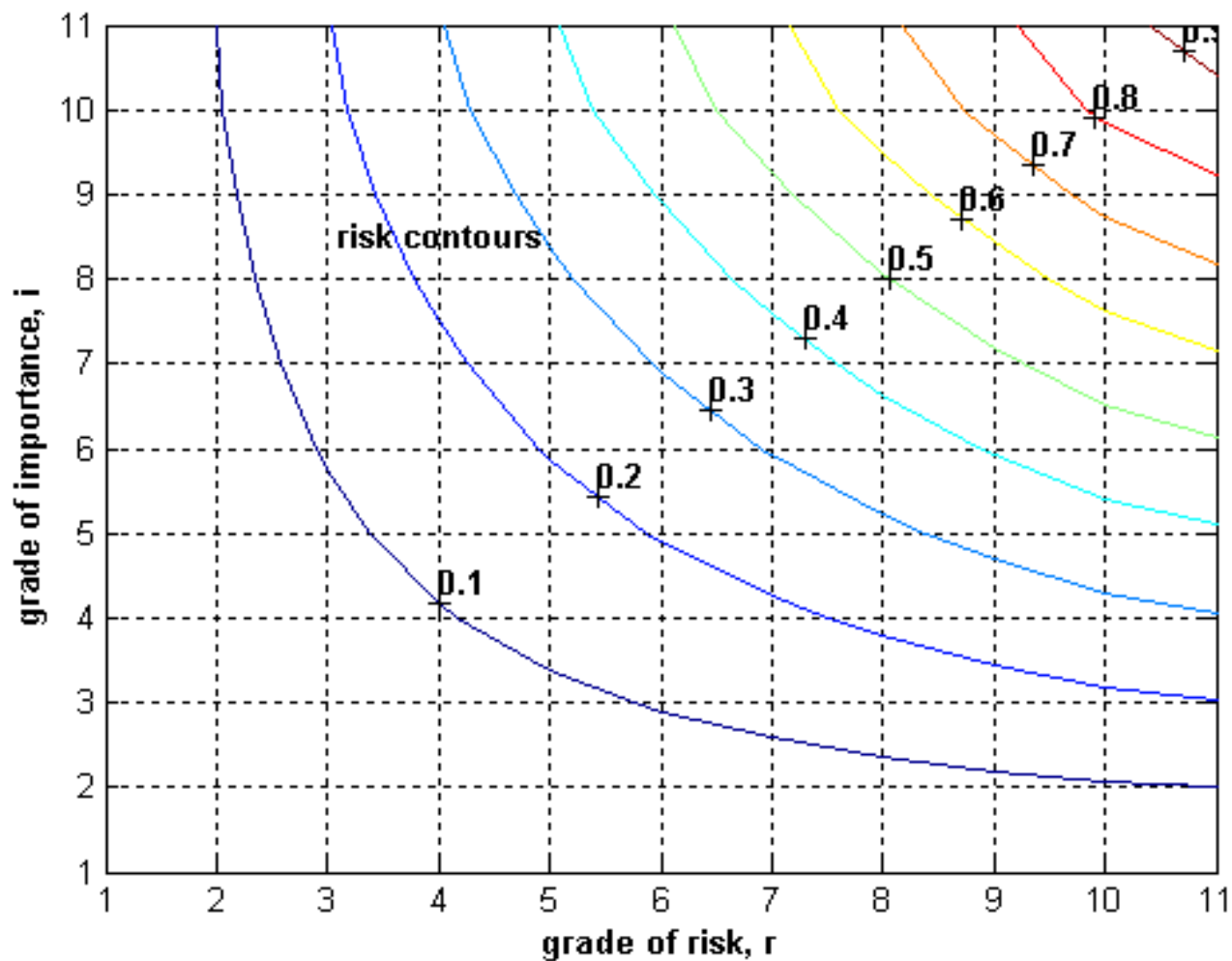


Рис.2 - Контури ризику, що представляють оцінку екологічного ризику $g(r,i)$ для кожного елемента ризику (вісь абсцисс – степінь ризику, вісь ординат – значимість ризику)

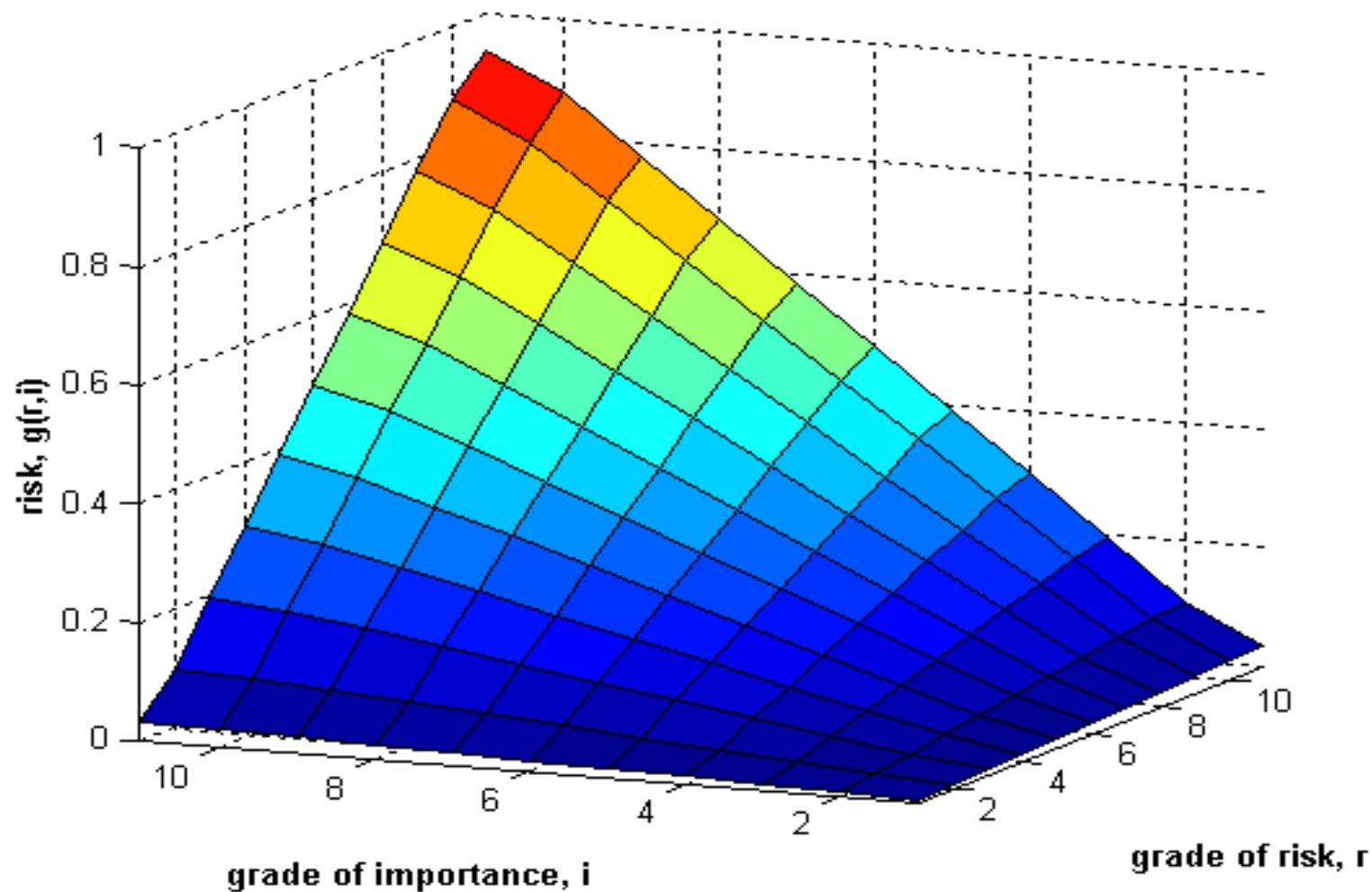


Рис.3 - Поверхня ризику, що відповідає контурам рис.2

Таблиця 2 - Треступінчаста структурна модель для екологічного ризику

Другий рівень елементів	Перший рівень елементів	Елемент ризику	$W3(k)$	$W2(k,j)$	$W1(k,j,i)$	r	i	$g(r,i)$
X_1			$W3(1)$					
	X_{11}			$W2(1,1)$				
		X_{111}			$W1(1,1,1)$	r_{111}	i_{111}	$g(r_{111},i_{111})$
		X_{112}			$W1(1,1,2)$	r_{112}	i_{112}	$g(r_{112},i_{112})$
		X_{113}			$W1(1,1,3)$	r_{113}	i_{113}	$g(r_{113},i_{113})$
	X_{12}			$W2(1,2)$				
		X_{121}			$W1(1,2,1)$	r_{121}	i_{121}	$g(r_{121},i_{121})$
		X_{122}			$W1(1,2,2)$	r_{122}	i_{122}	$g(r_{122},i_{122})$
		X_{123}			$W1(1,2,3)$	r_{123}	i_{123}	$g(r_{123},i_{123})$
		X_{124}			$W1(1,2,4)$	r_{124}	i_{124}	$g(r_{124},i_{124})$
X_2			$W3(2)$					
	X_{21}			$W2(2,1)$				
		X_{211}			$W1(2,1,1)$	r_{211}	i_{211}	$g(r_{211},i_{211})$
		X_{212}			$W1(2,1,2)$	r_{212}	i_{212}	$g(r_{212},i_{212})$
		X_{213}			$W1(2,1,3)$	r_{213}	i_{213}	$g(r_{213},i_{213})$
	X_{22}			$W2(2,2)$				
		X_{221}			$W1(2,2,1)$	r_{221}	i_{221}	$g(r_{221},i_{221})$
		X_{222}			$W1(2,2,2)$	r_{222}	i_{222}	$g(r_{222},i_{222})$
		X_{223}			$W1(2,2,3)$	r_{223}	i_{223}	$g(r_{223},i_{223})$

Матриця парних порівнянь в методі аналізу ієрархії (АНР):

$$A = (a_{mn}) \quad (4)$$

де A - зворотньо-симетрична матриця.

Таблиця 3 - Порівняння впливу елементів ризику X_1 та X_2 на ризик X

X	X_1	X_2
X_1	1	0.5
X_2	2	1

Таблиця 3а - Порівняння впливу елементів ризику X_{11} та X_{12} на ризик X_1

X_1	X_{11}	X_{12}
X_{11}	1	1.5
X_{12}	1/1.5	1

Таблиця 3б - Порівняння впливу елементів ризику X_{21} та X_{22} на ризик X_2

X_2	X_{21}	X_{22}
X_{21}	1	1.5
X_{22}	1/1.5	1

Таблиця 3в - Порівняння впливу елементів ризику X_{111} , X_{112} та X_{113} на ризик X_{11}

X_{11}	X_{111}	X_{112}	X_{113}
X_{111}	1	1.5	5.0
X_{112}	1/1.5	1	3.33
X_{113}	1/5.0	1/3.33	1

Рівняння для отримання вектору ваг:

$$AW = \lambda_{\max}(W) \quad (5)$$

де λ_{\max} - найбільше або головне власне значення A , W – вектор ваг, $(\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)$

Таблиця 4- Ваги, отримані методом аналізу ієрархій (АНР)

Визначення	$W3(k)$	$W2(k,j)$	$W1(k,j,i)$	Значення
Екологічний ризик	$W3(1)$			0.3333
Еко-токсикологічний ризик		$W2(1,1)$		0.6000
SO ₂ , SO ₃ , аерозолі H ₂ SO ₄			$W1(1,1,1)$	0.5357
Важкі метали			$W1(1,1,2)$	0.3572
Інші викиди			$W1(1,1,3)$	0.1071
Еко-матеріальний ризик		$W2(1,2)$		0.4000
Забруднення водоймищ			$W1(1,2,1)$	0.4546
Подавлення росту та загибель рослинності			$W1(1,2,2)$	0.3031
Частки, що визивають респіраторні захворювання			$W1(1,2,3)$	0.1514
Загромадження територій твердим огарком			$W1(1,2,4)$	0.0909
Людський ризик	$W3(2)$			0.6667
Токсикологічний вплив на людину		$W2(2,1)$		0.6000
Випари сірчистого ангідриду			$W1(2,1,1)$	0.5526
Канцерогенний вплив часточок			$W1(2,1,2)$	0.0791
Попадання токсичних речовин в організм через харчові продукти			$W1(2,1,3)$	0.3683
Пов'язані з безпекою людського здоров'я		$W2(2,2)$		0.4000
Аварійні викиди			$W1(2,2,1)$	0.2225
Нормальний режим експлуатації			$W1(2,2,2)$	0.4411
Руйнування конструкцій та підвищення корозійного зносу металів			$W1(2,2,3)$	0.3364

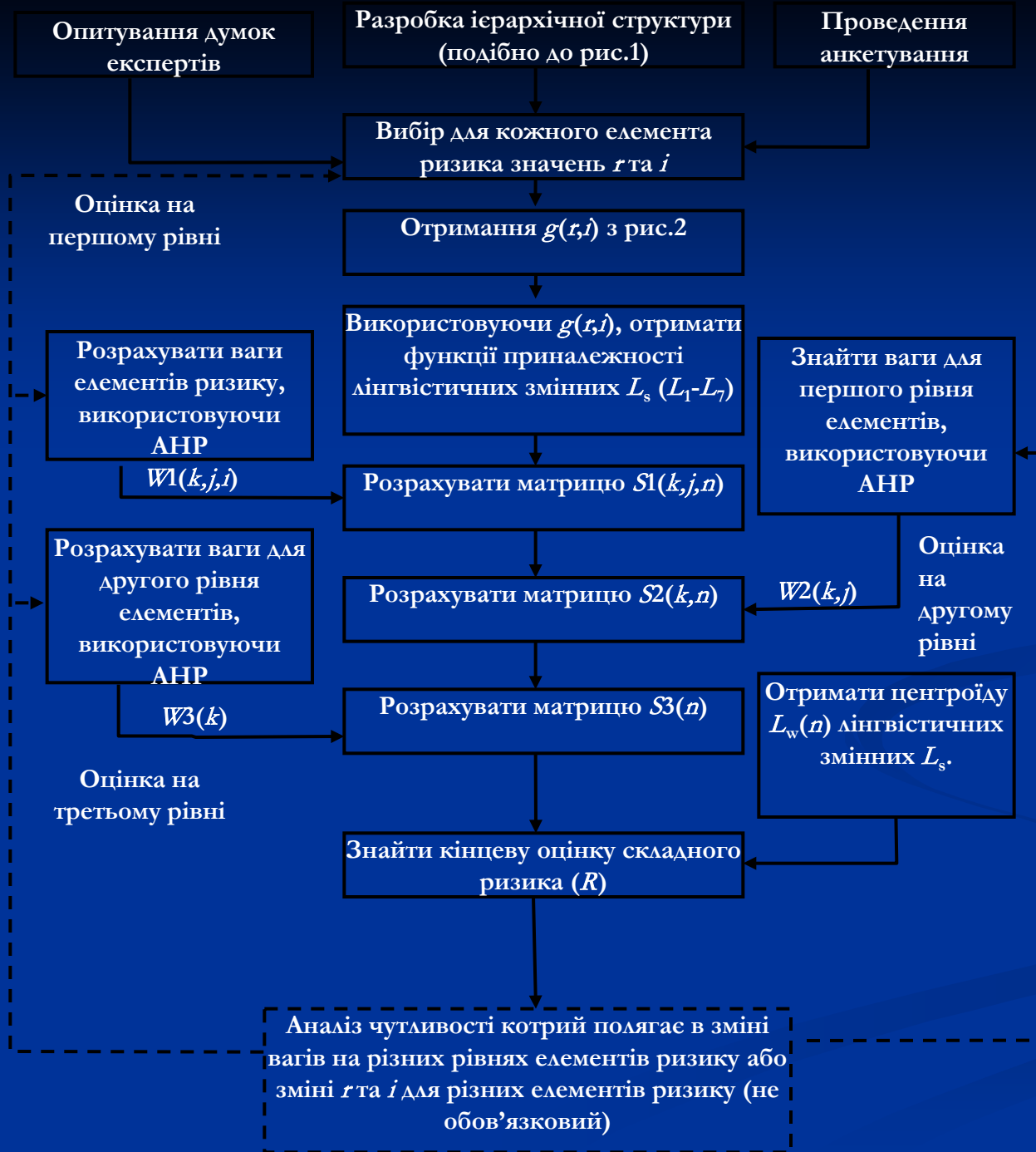


Рис.4 -
 Методологія
 оцінки складного
 екологічного
 ризику

Оцінки ризику є лінгвістичними змінними $L_1, L_2, L_3, L_4, L_5, L_6$, і L_7 , які були визначені як "критично низький", "дуже низький", "низький", "нормальний", "високий", "дуже високий" і "критично високий", відповідно. Ці лінгвістичні змінні були потім визначені TFN з наступними функціями приналежності:

$$L_1 = (0, 0, 1/6)$$

$$\mu_{L_1}(x) = \begin{cases} 1 - 6x, & 0 \leq x < \frac{1}{6}, \\ 0, & 0.1 \leq x \leq 1, \end{cases}$$

$$L_n = ((n-2)/6, (n-1)/6, n/6)$$

$$\mu_{L_n}(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x < \frac{n-2}{6}, \\ 6x - (n-2), & \frac{n-2}{6} \leq x < \frac{n-1}{6}, \\ n - 6x, & \frac{n-1}{6} \leq x \leq \frac{n}{6}, \\ 0, & \frac{n}{6} \leq x \leq 1. \end{cases} \quad (6)$$

$$(n = 2, 3, 4, 5, 6)$$

$$L_7 = (5/6, 1, 1)$$

$$\mu_{L_7}(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x \leq \frac{5}{6} \\ 6x - 5, & \frac{5}{6} \leq x \leq 1. \end{cases}$$

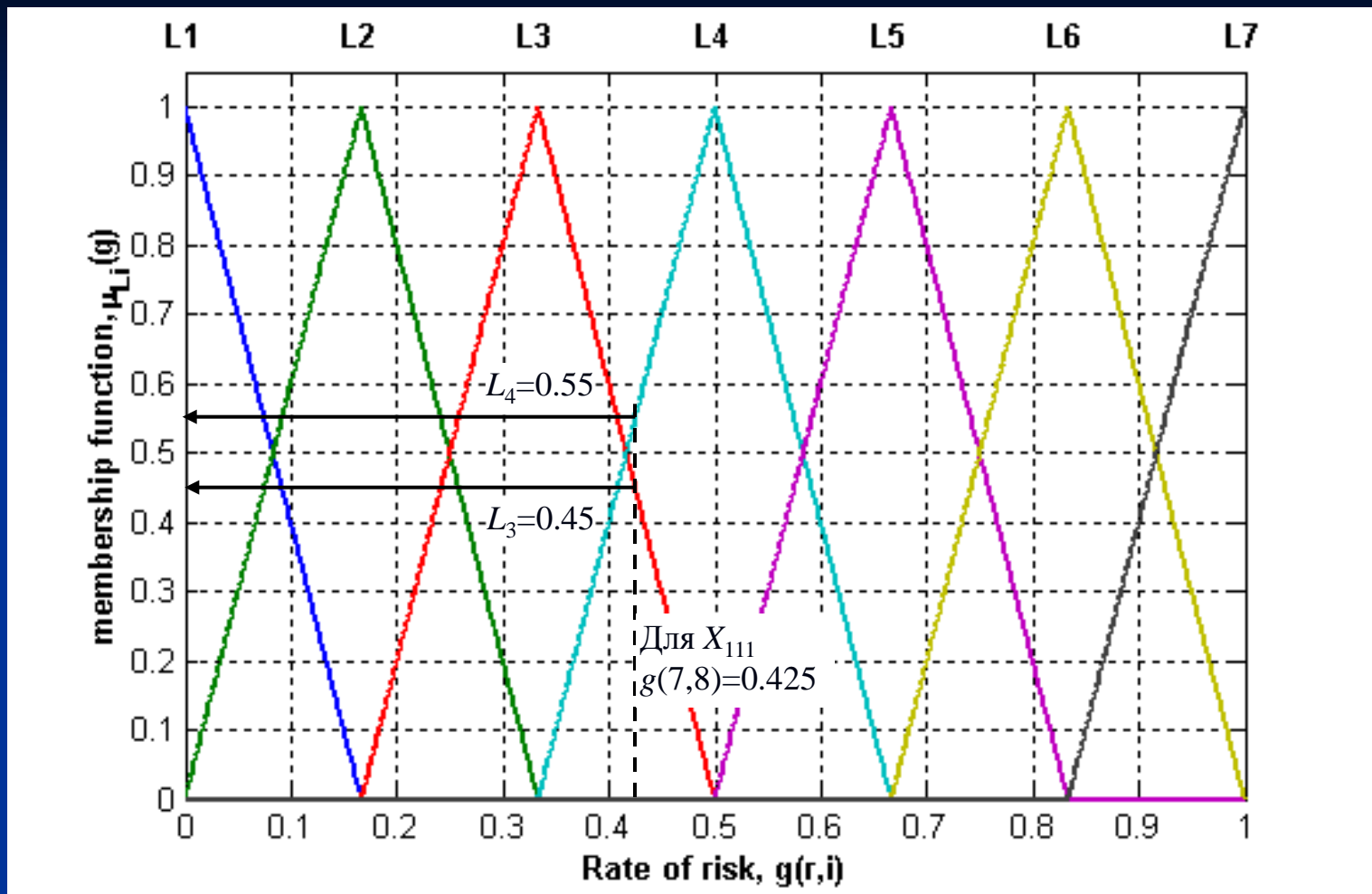


Рис.5 - Функції приналежності множини оцінок ризику навколишнього середовища

Центри мас (центроїди) вищезгаданих семи якісних шкал в висхідному порядку

$L_G(1) = 0.056, L_G(2) = 0.167, L_G(3) = 0.333, L_G(4) = 0.500, L_G(5) = 0.667,$

$L_G(6) = 0.834, \text{ и } L_G(7) = 0.944, \text{ відповідно.}$

Матриця нечіткої оцінки $F(X_{II})$ для елемента X_{II} :

$$F(X_{II}) = \begin{matrix} \left. \begin{matrix} L(r_{111}, i_{111}, 1) L(r_{111}, i_{111}, 2) \dots L(r_{111}, i_{111}, 7) \\ L(r_{112}, i_{112}, 1) L(r_{112}, i_{112}, 2) \dots L(r_{112}, i_{112}, 7) \\ L(r_{113}, i_{113}, 1) L(r_{113}, i_{113}, 2) \dots L(r_{113}, i_{113}, 7) \end{matrix} \right| \begin{matrix} X_{111} \\ X_{112} \\ X_{113} \end{matrix} \end{matrix} \quad (7)$$

де X_{111}, X_{112} та X_{113} - елементи ризику що включаються. Величина кожного ризику (r_{kji}, i_{kji})

була оцінена з рис.2, і потім використовувалася в (6) для оцінки (r_{kji}, i_{kji}, n)

(де $n = 1, 2, \dots, 7$). Аналогічно отримують матриці нечіткої оцінки $F(X_{12}), F(X_{21})$ і $F(X_{22})$ для відповідних елементів X_{12}, X_{21} і X_{22} .

Оцінка складного екологічного ризику першої стадії для елемента X_{11} :

$$[S(1,1,1), \dots, S(1,1,7)]_{1 \times 7} = [W1(1,1,1), W1(1,1,2), w1(1,1,3)]_{1 \times 3} \times F(X_{11})_{3 \times 7} \quad (8)$$

$$\text{де } S(1,1,n) = \sum_{i=1}^3 W1(1,1,i) \times L(r_{11i}, i_{11i}, n), \quad n = 1, 2, \dots, 7. \quad (9)$$

$S1(1,1) = [S(1,1,1), S(1,1,2), \dots, S(1,1,7)]$ - вектор складного екологічного ризику першої стадії для елемента X_{11} . Аналогічно $S1(1,2), S1(2,1)$, і $S1(2,2)$ - вектори складного екологічного ризику першої стадії для елементів першого рівня, X_{12}, X_{21} і X_{22} , відповідно. Оцінка на другій стадії (для X_{II}) виконується в такий спосіб:

$$[S(1,1), S(1,2), \dots, S(1,7)]_{1 \times 7} = [W2(1,1), W2(1,2)]_{1 \times 2} \otimes \begin{bmatrix} S1(1,1) \\ S1(1,2) \end{bmatrix}_{2 \times 7} \quad (10)$$

$$S2(1) = [S(1,1), S(1,2), \dots, S(1,7)] \quad \text{та}$$

$$S2(1,n) = \sum_{j=1}^2 W2(1,j) \times S2(1,j,n) \quad \text{для } n = 1, 2, \dots, 7. \quad (11)$$

Подібно для X_2 :

$$[S(2,1), S(2,2), \dots, S(2,7)]_{1 \times 7} = [W2(2,1), W2(2,2)]_{1 \times 2} \otimes \begin{bmatrix} S1(2,1) \\ S1(2,2) \end{bmatrix}_{2 \times 7} \quad (12)$$

де

$$S2(2) = [S(2,1), S(2,2), \dots, S(2,7)] \quad \text{та} \quad (13)$$

$$S2(2, n) = \sum_{j=1}^2 W2(2, j) \times S2(2, j, n) \quad \text{для } n = 1, 2, \dots, 7.$$

Оцінка на третій стадії для X наступна:

$$[S(1), S(2), \dots, S(7)]_{1 \times 7} = [W3(1), W3(2)]_{1 \times 2} \otimes \begin{bmatrix} S2(1) \\ S2(2) \end{bmatrix}_{2 \times 7} \quad (14)$$

де $S3(n) = [S(1), S(2), \dots, S(7)]$

Оцінка кінцевого складного екологічного ризику (X) може бути дефазифікована методом центроїди в такий спосіб:

$$\text{кінцевий складений ризик} = R = \sum_{n=1}^7 L_G(n) \times S3(n) \quad (15)$$

Таблиця 5 - Експертні дані для факторів ризику

Елемент ризику	r	i	$g(r,i)$
X_{111}	7	8	0.4250
X_{112}	6	7	0.3050
X_{113}	3	4	0.0650
X_{121}	4	5	0.1250
X_{122}	3	4	0.0650
X_{123}	3	2	0.0250
X_{124}	2	7	0.0650
X_{211}	4	7	0.1850
X_{212}	2	4	0.0350
X_{213}	6	6	0.2550
X_{221}	3	5	0.0850
X_{222}	4	6	0.1550
X_{223}	4	5	0.1250

Елемент ризику	Елементи	g(r,i)	W1()	L ₁	L ₂	L ₃	L ₄	L ₅	L ₆	L ₇
X ₁₁₁	F(X ₁₁₁)	0.4250	0.5357	0	0	0.4500	0.5500	0	0	0
X ₁₁₂	F(X ₁₁₂)	0.3050	0.3572	0	0.1700	0.8300	0	0	0	0
X ₁₁₃	F(X ₁₁₃)	0.0650	0.1071	0.6100	0.3900	0	0	0	0	0
X ₁₂₁	F(X ₁₂₁)	0.1250	0.4546	0.2500	0.7500	0	0	0	0	0
X ₁₂₂	F(X ₁₂₂)	0.0650	0.3031	0.6100	0.3900	0	0	0	0	0
X ₁₂₃	F(X ₁₂₃)	0.0250	0.1514	0.8500	0.1500	0	0	0	0	0
X ₁₂₄	F(X ₁₂₄)	0.0650	0.0909	0.6100	0.3900	0	0	0	0	0
X ₂₁₁	F(X ₂₁₁)	0.1850	0.5526	0	0.8900	0.1100	0	0	0	0
X ₂₁₂	F(X ₂₁₂)	0.0350	0.0791	0.7900	0.2100	0	0	0	0	0
X ₂₁₃	F(X ₂₁₃)	0.2550	0.3683	0	0.4700	0.5300	0	0	0	0
X ₂₂₁	F(X ₂₂₁)	0.0850	0.2225	0.4900	0.5100	0	0	0	0	0
X ₂₂₂	F(X ₂₂₂)	0.1550	0.4411	0.0700	0.9300	0	0	0	0	0
X ₂₂₃	F(X ₂₂₃)	0.1250	0.3364	0.2500	0.7500	0	0	0	0	0
Рівень I	Елементи		W2()	S1(k,j,1)	S1(k,j,2)	S1(k,j,3)	S1(k,j,4)	S1(k,j,5)	S1(k,j,6)	S1(k,j,7)
X ₁₁	S1(1,1,n)		0.600	0.0653	0.1025	0.5375	0.2946	0.0000	0.0000	0.0000
X ₁₂	S1(1,2,n)		0.400	0.4827	0.5173	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
X ₂₁	S1(2,1,n)		0.600	0.0625	0.6815	0.2560	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
X ₂₂	S1(2,2,n)		0.400	0.2240	0.7760	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Рівень II	Елементи		W3()	S2(k,1)	S2(k,2)	S2(k,3)	S2(k,4)	S2(k,5)	S2(k,6)	S2(k,7)
X ₁	S2(1,n)		0.333	0.2323	0.2684	0.3225	0.1768	0.0000	0.0000	0.0000
X ₂	S2(2,n)		0.667	0.1271	0.7193	0.1536	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Складений ризик	Елементи			S3(1)	S3(2)	S3(3)	S3(4)	S3(5)	S3(6)	S3(7)
X	S3(n)			0.1621	0.5690	0.2099	0.0589	0	0	0
центроїди	L _G (n)			0.0552	0.1667	0.3333	0.5000	0.6667	0.8333	0.9448
Ризик	R	0.2032	Таблиця 6. Одержання оцінки складеного екологічного ризику							