

Азарова А. О., Мороз О. О., Антонюк С. Ю.

Математична модель оцінювання рівня інтелектуального капіталу

Оцінювання інтелектуального капіталу – це досить складний процес, адже він вимагає врахування всіх вагомих факторів та встановлення правильних функціональних залежностей між ними. Проте важливо обґрунтувати множину чинників, щоб уникнути серед них колінеарних, обернених один до одного, корельованих і таких, що дублюють один одного.

На основі аналізу закордонних та вітчизняних праць, авторами монографії визначено ключові чинники, які визначають рівень інтелектуального капіталу на підприємстві. Це уможливило встановлення функціональних залежностей між ними та факторами впливу на ІК у вигляді структурно-логічної схеми.

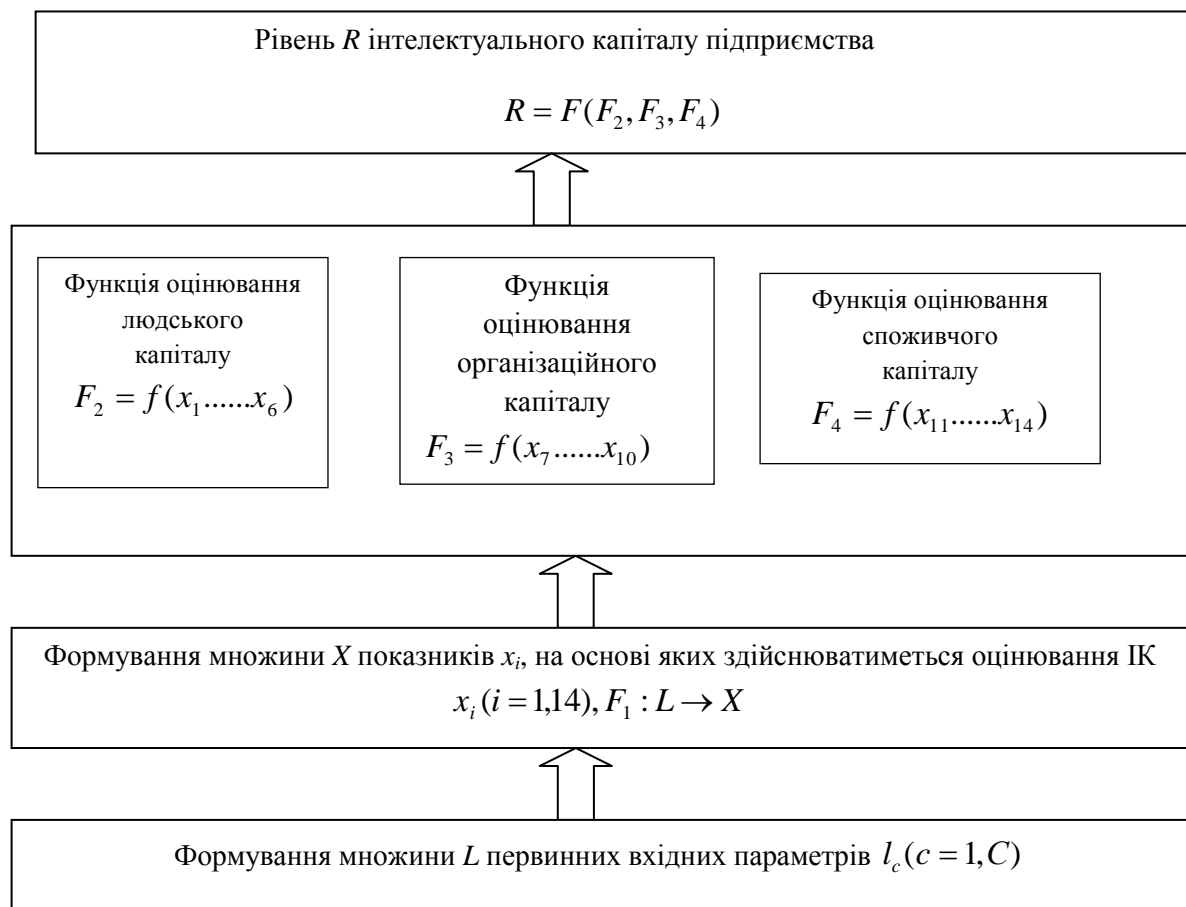


Рисунок 1 – Структурна модель оцінювання інтелектуального капіталу

Математичну модель оцінювання рівня інтелектуального капіталу автори монографії пропонують такою:

$$L \xrightarrow{F_1} X \xrightarrow{F_2, F_3, F_4} R, \quad X = F_1(L), \quad L = (l_c), \quad c = \overline{1, C}, \quad X = (x_i), \quad i = \overline{1, 14}, \\ R = (r_j), \quad j = \overline{1, 5}; \quad F_2 = f(x_1, \dots, x_6), \quad F_3 = f(x_7, \dots, x_{10}), \quad F_4 = f(x_{11}, \dots, x_{14}),$$

де F_1 – це функціонал відображення множини L первинних вхідних параметрів на множину X оцінювальних параметрів;

F_2 – функціонал оцінювання людського капіталу, що залежить від таких параметрів як [1]: x_1 – показник винахідницької активності; x_2 – показник інженерно-технічного і наукового забезпечення; x_3 – показник освітнього рівня; x_4 – показник плінності кадрів високої кваліфікації; x_5 – показник оновлення знань; x_6 – рівень інтелектуалізації капіталу;

F_3 – функціонал оцінювання організаційного капіталу, що враховує такі параметри [2]: x_7 – коефіцієнт прогресивності конструкцій; x_8 – рівень оснащення сучасними засобами комунікації; x_9 – коефіцієнт повноти інформації; x_{10} – можливість реалізувати організаційний капітал.

F_4 – функціонал оцінювання споживчого капіталу, що враховує такі параметри [3]: x_{11} – частка клієнтів, які повторно зробили замовлення; x_{12} – індекс екстенсивного приросту клієнтської бази; x_{13} – середній розмір рахунку постійного клієнта; x_{14} – витрати на формування споживчого капіталу.

Отже, реалізація сукупності вхідних та вихідних параметрів, усіх функцій їх перетворення у послідовному виконанні утворює математичну модель оцінювання рівня інтелектуального капіталу підприємства.

Оскільки серед параметрів впливу на ІК присутні не лише кількісні, але й якісні за своєю суттю чинники, то найбільш поширеним та ефективним математичним апаратом для формалізації такої моделі є математичний апарат нечіткої логіки (НЛ).

Оцінювання x_i пропонуємо здійснювати на основі трьох лінгвістичних термів: Н – низький рівень показника, С – середній рівень показника; В – високий рівень показника.

На базі експертних даних було встановлено вигляд функцій

належності для кожного оцінювального параметру. За ідентичністю форми їх було згруповано до трьох типів: «А», «Б», «В». До графіка «А» віднесено параметри, які за своїм економічним змістом мають схильність до постійного значення функції на певному проміжку. Параметри, графіки функцій належності яких описуються графіком «Б», відповідно до своєї природи не мають стабільності, тобто плавно змінюються під впливом різних чинників. Показники графіка «В» можна віднести до «змішаного» типу, тобто вони можуть як мати постійно значення функції, так і плавно переходити з одного стану в інший. Зобразимо дані графіки на рис. 1.

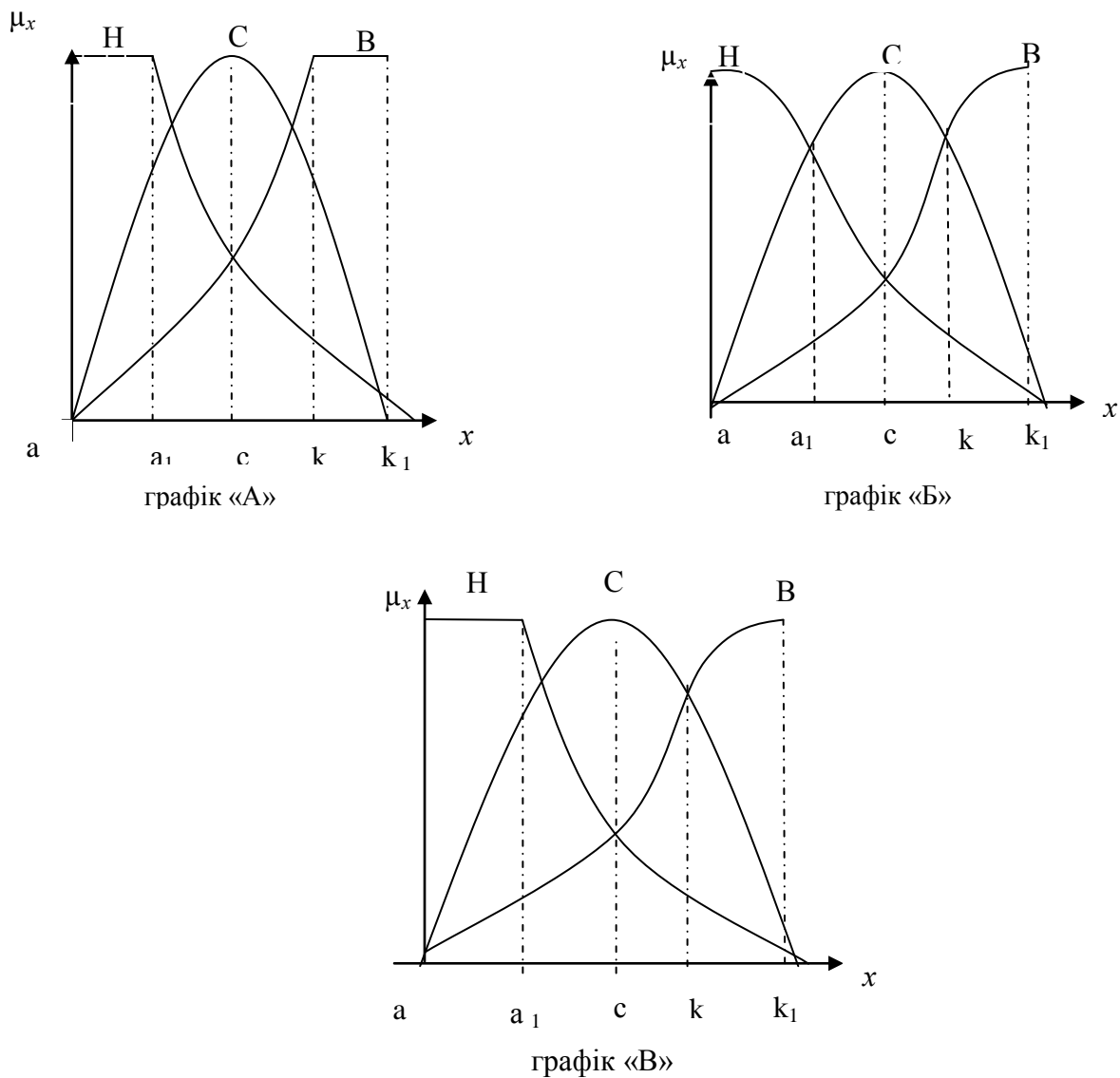


Рисунок 2 – Загальний вигляд графіків «А», «Б» та «В»

Згрупуємо параметри x_i згідно загального вигляду їх функцій належності до трьох нечітких термів як зазначено у табл. 1–3.

На основі узгоджених експертних оцінок визначимо характеристичні точки a, a_1, c, k, k_1 функцій належностей даних параметрів як вказано у табл. 4. Представимо значення даних показників за шкалою «0-1».

Таблиця 1 – Параметри, що належать до графіку «А»

Параметр	Повна назва параметра
x_1	Показник винахідницької активності;
x_6	Рівень інтелектуалізації капіталу;
x_9	Коефіцієнт повноти інформації
x_{11}	Частка клієнтів, які повторно зробили замовлення
x_{13}	Середній розмір рахунку постійного клієнта

Таблиця 2 – Параметри, що належать до графіку «Б»

Параметр	Повна назва параметра
x_3	Показник освітнього рівня;
x_4	Показник плинності кадрів високої кваліфікації;
x_8	Рівень оснащення сучасними засобами комунікації

Таблиця 3 – Параметри, що належать до графіку «В»

Параметр	Повна назва параметра
x_2	Показник інженерно-технічного і наукового забезпечення;
x_5	Показник оновлення знань;
x_7	Коефіцієнт прогресивності конструкцій
x_{10}	Можливість реалізувати організаційний капітал
x_{12}	Індекс екстенсивного приросту клієнтської бази
x_{14}	Витрати на формування споживчого капіталу

Визначимо математичну залежність для функцій належності кожного з параметрів.

Функції належності графіку «А» набувають вигляду:

Таблиця 4 – Значення характеристичних точок оцінюваних параметрів $x_i, i = \overline{1,14}$

Параметр	Графік	Характеристична точка				
		a	a_1	c	k	k_1
x_1	А	0	0,01	0,1	0,2	1
x_2	В	0	0,2	0,5	1	–
x_3	Б	0	0,3	0,5	0,7	1
x_4	Б	0	0,1	0,2	0,3	1
x_5	В	0	0,3	0,4	0,7	1
x_6	А	0	0,2	0,5	0,9	2
x_7	В	0	0,3	0,5	0,7	1
x_8	Б	0	0,3	0,5	0,7	1
x_9	А	0	0,3	0,6	0,8	1
x_{10}	В	0	0,25	0,4	0,6	1
x_{11}	А	0	0,2	0,5	0,6	1
x_{12}	В	0	0,5	1	1,5	1
x_{13}	А	0	0,2	0,4	0,6	1
x_{14}	В	0	0,05	0,1	0,15	1

$$\mu^H(x) = \begin{cases} 1, x \in [a, a_1]; \\ \left(\frac{k_1 - x}{k_1 - a_1}\right)^n, x \in [a_1, k_1] \end{cases} \quad (1)$$

$$\mu^C(x) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x - c}{n}\right)^2}; \quad (2)$$

$$\mu^B(x) = \begin{cases} \left(\frac{x - a}{k - a}\right)^n, x \in [a, k]; \\ 1, x \in (k, k_1] \end{cases} \quad (3)$$

Функції належності графіку «Б» набувають вигляду:

$$\mu^H(x) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x - a}{n}\right)^2}; \quad (4)$$

$$\mu^C(x) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x - c}{n}\right)^2}; \quad (5)$$

$$\mu^B(x) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x - k_1}{n}\right)^2}. \quad (6)$$

Необхідно зауважити, що усі рівняння визначаються лише на проміжку від 0 до 1. Функції належності графіку «В» набувають вигляду:

$$\mu^H(x) = \begin{cases} 1, & x \in [a, a_1); \\ \left(\frac{k_1 - x}{k_1 - a_1}\right)^n, & x \in [a_1, k_1] \end{cases} \quad (7)$$

$$\mu^C(x) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x - c}{n}\right)^2}; \quad (8)$$

$$\mu^B(x) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x - k_1}{n}\right)^2}. \quad (9)$$

Використовуючи дані табл. 4 та залежності (1)–(9), можна розрахувати значення функцій належності для кожного оцінювального параметра.

На основі експертної інформації складемо матриці знань для агрегуючих функціоналів F_2 , F_3 , F_4 оцінювання інтелектуального капіталу. Для підвищення точності таких оцінок скористаємося п'ятьма лінгвістичними термами: Н – низький рівень показника, НС – нижче середнього; С – середній рівень показника; ВС – вище середнього; В – високий рівень показника.

У таблицях 5–7 представлено матриці знань для агрегуючих функціоналів: F_2 – людського капіталу, F_3 – організаційного капіталу, F_4 – споживчого капіталу.

На основі матриці знань складено логічні рівняння для усіх агрегуючих функціоналів. Зокрема, для F_2 такі рівняння набувають вигляду:

Таблиця 5 – Матриця знань для оцінювання функціоналу F_2 – людського капіталу

x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	F_2
B	B	B	B	B	B	B
B	C	B	B	B	B	
B	B	B	B	C	C	
B	B	C	B	B	B	BC
C	B	B	C	B	B	
B	C	C	B	C	B	
H	C	C	C	C	C	C
C	C	H	C	H	C	
H	C	H	H	C	C	
H	H	C	H	H	C	HC
C	H	H	C	C	H	
H	H	H	C	H	C	
C	C	H	H	H	H	H
H	C	H	H	C	H	
H	H	C	H	H	H	

$$\mu^B(F_2) = \mu^B(x_1) \cdot \mu^B(x_2) \cdot \mu^B(x_3) \cdot \mu^B(x_4) \cdot \mu^B(x_5) \cdot \mu^B(x_6) \cup \mu^B(x_1) \cdot \mu^C(x_2) \cdot \mu^B(x_3) \times \\ \times \mu^B(x_4) \cdot \mu^B(x_5) \cdot \mu^B(x_6) \cup \mu^B(x_1) \cdot \mu^B(x_2) \cdot \mu^B(x_3) \cdot \mu^B(x_4) \cdot \mu^C(x_5) \cdot \mu^C(x_6).$$

$$\mu^{BC}(F_2) = \mu^B(x_1) \cdot \mu^B(x_2) \cdot \mu^C(x_3) \cdot \mu^B(x_4) \cdot \mu^B(x_5) \cdot \mu^B(x_6) \cup \mu^C(x_1) \cdot \mu^B(x_2) \cdot \mu^B(x_3) \times \\ \times \mu^C(x_4) \cdot \mu^B(x_5) \cdot \mu^B(x_6) \cup \mu^B(x_1) \cdot \mu^C(x_2) \cdot \mu^C(x_3) \cdot \mu^B(x_4) \cdot \mu^C(x_5) \cdot \mu^B(x_6).$$

$$\mu^C(F_2) = \mu^H(x_1) \cdot \mu^C(x_2) \cdot \mu^C(x_3) \cdot \mu^C(x_4) \cdot \mu^C(x_5) \cdot \mu^C(x_6) \cup \mu^C(x_1) \cdot \mu^C(x_2) \cdot \mu^H(x_3) \times \\ \times \mu^C(x_4) \cdot \mu^H(x_5) \cdot \mu^C(x_6) \cup \mu^H(x_1) \cdot \mu^C(x_2) \cdot \mu^H(x_3) \cdot \mu^H(x_4) \cdot \mu^C(x_5) \cdot \mu^C(x_6).$$

$$\mu^{HC}(F_2) = \mu^H(x_1) \cdot \mu^H(x_2) \cdot \mu^C(x_3) \cdot \mu^H(x_4) \cdot \mu^H(x_5) \cdot \mu^C(x_6) \cup \mu^C(x_1) \cdot \mu^H(x_2) \cdot \mu^H(x_3) \times \\ \times \mu^C(x_4) \cdot \mu^C(x_5) \cdot \mu^H(x_6) \cup \mu^H(x_1) \cdot \mu^H(x_2) \cdot \mu^H(x_3) \cdot \mu^C(x_4) \cdot \mu^H(x_5) \cdot \mu^C(x_6).$$

$$\mu^H(F_2) = \mu^C(x_1) \cdot \mu^C(x_2) \cdot \mu^H(x_3) \cdot \mu^H(x_4) \cdot \mu^H(x_5) \cdot \mu^H(x_6) \cup \mu^H(x_1) \cdot \mu^C(x_2) \cdot \mu^H(x_3) \times \\ \times \mu^H(x_4) \cdot \mu^C(x_5) \cdot \mu^H(x_6) \cup \mu^H(x_1) \cdot \mu^H(x_2) \cdot \mu^C(x_3) \cdot \mu^H(x_4) \cdot \mu^H(x_5) \cdot \mu^H(x_6).$$

Таблиця 6 – Матриця знань для оцінювання функціоналу F_3 – організаційного капіталу

x_7	x_8	x_9	x_{10}	F_3
B	B	B	B	B
C	B	B	B	
B	C	C	B	
C	B	C	B	BC
B	B	B	C	
B	C	B	C	
C	C	B	B	C
C	B	B	C	
C	C	C	B	
C	C	H	C	HC
H	C	C	H	
H	C	C	C	
C	H	H	C	H
H	C	H	H	
H	H	H	H	

Логічні рівняння для функціоналу F_3 організаційного капіталу є такими:

$$\mu^B(F_3) = \mu^B(x_7) \cdot \mu^B(x_8) \cdot \mu^B(x_9) \cdot \mu^B(x_{10}) \cup \mu^C(x_7) \cdot \mu^B(x_8) \times \mu^B(x_9) \cdot \mu^B(x_{10}) \cup \mu^B(x_7) \cdot \mu^C(x_8) \cdot \mu^C(x_9) \cdot \mu^B(x_{10}).$$

$$\mu^{BC}(F_3) = \mu^C(x_7) \cdot \mu^B(x_8) \cdot \mu^C(x_9) \cdot \mu^B(x_{10}) \cup \mu^B(x_7) \cdot \mu^B(x_8) \times \mu^B(x_9) \cdot \mu^C(x_{10}) \cup \mu^B(x_7) \cdot \mu^C(x_8) \cdot \mu^B(x_9) \cdot \mu^C(x_{10}).$$

$$\mu^C(F_3) = \mu^C(x_7) \cdot \mu^C(x_8) \cdot \mu^B(x_9) \cdot \mu^B(x_{10}) \cup \mu^C(x_7) \cdot \mu^B(x_8) \times \mu^B(x_9) \cdot \mu^C(x_{10}) \cup \mu^C(x_7) \cdot \mu^C(x_8) \cdot \mu^C(x_9) \cdot \mu^B(x_{10}).$$

$$\mu^{HC}(F_3) = \mu^C(x_7) \cdot \mu^C(x_8) \cdot \mu^H(x_9) \cdot \mu^C(x_{10}) \cup \mu^H(x_7) \cdot \mu^C(x_8) \times \mu^C(x_9) \cdot \mu^H(x_{10}) \cup \mu^H(x_7) \cdot \mu^C(x_8) \cdot \mu^C(x_9) \cdot \mu^C(x_{10}).$$

$$\mu^H(F_3) = \mu^C(x_7) \cdot \mu^H(x_8) \cdot \mu^H(x_9) \cdot \mu^C(x_{10}) \cup \mu^H(x_7) \cdot \mu^C(x_8) \times \\ \times \mu^H(x_9) \cdot \mu^H(x_{10}) \cup \mu^H(x_7) \cdot \mu^H(x_8) \cdot \mu^H(x_9) \cdot \mu^H(x_{10}).$$

Таблиця 7 – Матриця знань для оцінювання функціоналу F_4 – споживчого капіталу

x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	F_4
B	B	B	B	B
C	B	B	B	
C	C	B	B	
B	B	C	B	BC
B	C	B	C	
C	C	C	B	
C	C	H	C	C
H	H	C	C	
C	C	H	C	
C	C	H	H	HC
C	H	H	C	
C	C	C	H	
C	H	H	H	H
H	H	C	H	
H	H	H	H	

Логічні рівняння для функціоналу F_4 споживчого капіталу є такими:

$$\mu^B(F_4) = \mu^B(x_{11}) \cdot \mu^B(x_{12}) \cdot \mu^B(x_{13}) \cdot \mu^B(x_{14}) \cup \mu^C(x_{11}) \cdot \mu^B(x_{12}) \times \\ \times \mu^B(x_{13}) \cdot \mu^B(x_{14}) \cup \mu^C(x_{11}) \cdot \mu^C(x_{12}) \cdot \mu^B(x_{13}) \cdot \mu^B(x_{14})$$

$$\mu^{BC}(F_4) = \mu^B(x_{11}) \cdot \mu^B(x_{12}) \cdot \mu^C(x_{13}) \cdot \mu^B(x_{14}) \cup \mu^B(x_{11}) \cdot \mu^C(x_{12}) \times \\ \times \mu^B(x_{13}) \cdot \mu^C(x_{14}) \cup \mu^C(x_{11}) \cdot \mu^C(x_{12}) \cdot \mu^C(x_{13}) \cdot \mu^B(x_{14})$$

$$\mu^C(F_4) = \mu^C(x_{11}) \cdot \mu^C(x_{12}) \cdot \mu^H(x_{13}) \cdot \mu^C(x_{14}) \cup \mu^H(x_{11}) \cdot \mu^H(x_{12}) \times \\ \times \mu^C(x_{13}) \cdot \mu^C(x_{14}) \cup \mu^C(x_{11}) \cdot \mu^C(x_{12}) \cdot \mu^H(x_{13}) \cdot \mu^C(x_{14})$$

$$\mu^{HC}(F_4) = \mu^C(x_{11}) \cdot \mu^C(x_{12}) \cdot \mu^H(x_{13}) \cdot \mu^H(x_{14}) \cup \mu^C(x_{11}) \cdot \mu^H(x_{12}) \times \\ \times \mu^H(x_{13}) \cdot \mu^C(x_{14}) \cup \mu^C(x_{11}) \cdot \mu^C(x_{12}) \cdot \mu^C(x_{13}) \cdot \mu^H(x_{14})$$

$$\mu^H(F_4) = \mu^C(x_{11}) \cdot \mu^H(x_{12}) \cdot \mu^H(x_{13}) \cdot \mu^H(x_{14}) \cup \mu^H(x_{11}) \cdot \mu^H(x_{12}) \times \\ \times \mu^C(x_{13}) \cdot \mu^H(x_{14}) \cup \mu^H(x_{11}) \cdot \mu^H(x_{12}) \cdot \mu^H(x_{13}) \cdot \mu^H(x_{14})$$

Складемо матрицю знань для визначення остаточного рішення щодо рівня $r_j, j = \overline{1,5}$ розвитку інтелектуального капіталу.

Таблиця 8 – Матриця знань для визначення $r_j, j = \overline{1,5}$

F_2	F_3	F_4	$R=(r_j)$
B	B	B	$r_1(B)$
BC	B	B	
B	BC	B	
B	BC	B	$r_2(BC)$
BC	B	C	
B	BC	C	
BC	HC	C	$r_3(C)$
B	C	BC	
HC	BC	C	
C	HC	HC	$r_4(HC)$
H	C	C	
HC	H	HC	
HC	C	C	$r_5(H)$
H	H	HC	
H	H	H	

Логічні рівняння для визначення рівня розвитку інтелектуального капіталу набувають вигляду:

$$\mu^B(R) = \mu^B(F_2) \cdot \mu^B(F_3) \cdot \mu^B(F_4) \cup \mu^{BC}(F_2) \cdot \mu^B(F_3) \cdot \mu^B(F_4) \cup \mu^B(F_2) \cdot \mu^{BC}(F_3) \cdot \mu^B(F_4).$$

$$\mu^{BC}(R) = \mu^B(F_2) \cdot \mu^{BC}(F_3) \cdot \mu^B(F_4) \cup \mu^{BC}(F_2) \cdot \mu^B(F_3) \cdot \mu^C(F_4) \cup \mu^B(F_2) \cdot \mu^{BC}(F_3) \cdot \mu^C(F_4).$$

$$\mu^C(R) = \mu^{BC}(F_2) \cdot \mu^{HC}(F_3) \cdot \mu^C(F_4) \cup \mu^B(F_2) \cdot \mu^C(F_3) \cdot \mu^{BC}(F_4) \cup \mu^{HC}(F_2) \cdot \mu^{BC}(F_3) \cdot \mu^C(F_4).$$

$$\mu^{HC}(R) = \mu^C(F_2) \cdot \mu^{HC}(F_3) \cdot \mu^C(F_4) \cup \mu^H(F_2) \cdot \mu^C(F_3) \cdot \mu^C(F_4) \cup \mu^{HC}(F_2) \cdot \mu^H(F_3) \cdot \mu^{HC}(F_4).$$

$$\mu^H(R) = \mu^{HC}(F_2) \cdot \mu^C(F_3) \cdot \mu^C(F_4) \cup \mu^H(F_2) \cdot \mu^H(F_3) \cdot \mu^{HC}(F_4) \cup \mu^H(F_2) \cdot \mu^H(F_3) \cdot \mu^H(F_4).$$

Отже, $r_j = \max\{\mu^j(R)\}$.

Розроблені математична модель та метод її формалізації на основі НЛ дозволяють оцінювати рівень розвитку інтелектуального капіталу на підприємстві, що уможлиблює подальше обґрунтування комплексу заходів щодо підвищення ефективності діяльності вітчизняних підприємств на ринку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Шипуліна Ю. С. Управління розвитком інноваційного потенціалу промислових підприємств / Ю. С. Шипуліна // Проблеми управління інноваційним розвитком підприємств у транзитивній економіці : монографія ; [за заг. ред. д.е.н., проф. С. М. Ілляшенка]. – Суми : ВТД «Університетська книга», 2005. — С. 174—231.
2. Джамай Є.В. Інтелектуальний капітал фірми, що розвивається: проблеми ідентифікації та вимірювання. / Є. В. Джамай, М. А. Бендик // Менеджмент у Росії і за кордоном. – № 4. – 2001. – 245 с.
3. Кендюхов А. В. Корпоративная культура как составляющая интеллектуального капитала предприятия: функциональный аспект / А. В. Кендюхов // Менеджер. – 2003. – № 2. – С. 60-64.