

УДК 655.5:004.942

В. М. Сеньківський, І. В. Піх, Т. С. Голубник*Українська академія друкарства***НЕЧІТКА БАЗА ЗНАНЬ І НЕЧІТКІ ЛОГІЧНІ РІВНЯННЯ
В ПРОЦЕСІ РЕАЛІЗАЦІЇ МОНТАЖНИХ СПУСКІВ**

Побудовано нечітку базу знань і систему нечітких логічних рівнянь, що визначають процедури отримання вагомостей функцій належності для розрахунку числового значення інтегрального показника якості реалізації монтажних спусків книжкових видань.

Нечітка логіка, нечітка множина, функція належності, лінгвістична змінна, база знань, нечіткі логічні рівняння, терм, інтегральний показник якості, реалізація монтажного спуску

Пропонована публікація служить логічним продовженням виконаних раніше досліджень [1, 2, 9], пов'язаних з розробленням на основі нечіткої логіки і нечітких множин [3–8, 10, 11] інформаційної технології прогнозування якості формування та реалізації монтажних спусків (МС) книжкових видань. У результаті створено передумови для проектування нечіткої бази знань і системи нечітких логічних рівнянь, що визначають процедури отримання вагомостей функцій належності (ФН) для множини лінгвістичних термів (описових характеристик, виражених звичайною мовою) інтегрального показника якості досліджуваного процесу та розрахунку його числового значення.

Нечітка база знань формується на підставі експертних суджень щодо сукупного впливу виокремлених факторів на процес і відтворює алгоритм досягнення прогнозованої якості залежно від комбінації значень лінгвістичних термів (ЛТ), заданих у табл. 1. У цій таблиці для кожної з лінгвістичних змінних, що ідентифікує фактор впливу на якість реалізації МС, задано формалізовану назву та лінгвістичну (описову) сутність змінної, межі задання значень у вигляді універсальної терм-множини D і віднесені до цієї множини якісні характеристики – лінгвістичні терми множини T .

*Таблиця 1***Терм-множини значень лінгвістичних змінних**

Змінна	Лінгвістична суть змінної	Універсальна множина значень (множина D)	Лінгвістичні терми (множина T)
1	2	3	4
x_1	обсяг видання	(2-24) фізичних аркушів	малий, середній, великий
x_2	формат видання	(150x210-210x270) (315-567) см ²	малий, середній, великий
x_3	тип зошита	(1-5) у. о.	складний, неповний, повний

Продовж. табл. 1

1	2	3	4
x_4	тип скріплення блока	(2x32-24x32) (64-768) у. о.	клейовий, комбінований, нитками
y_1	спосіб комплектування (кількість сторінок видання)	(4-768) с.	вкладанням, впідбір
y_2	фальцювання (точність, якість)	(1,5-3) мм	низька, середня, висока
y_3	розкладання звороту (точність суміщення, якість)	(0-2) мм	низька, середня, висока
z	тип друкарської машини	(1-5) у. о.	аркушева, рулонна

Для інтегрального показника, ідентифікованого лінгвістичною змінною P – «якість реалізації монтажних спусків», додатково встановимо ЛТ «низька», «середня», «висока». На наступному рівні ієрархії відповідно до моделі логічного виведення [2] аналогічні терми «низька», «середня», «висока» віднесемо до лінгвістичних змінних: X – «якість структурування видання», Y – «якість технологічних процедур», Z – «якість обладнання». Остаточна нечітка база знань стосовно відношення

$$P = F_p(X, Y, Z) \quad (1)$$

для найвищого рівня матиме такий узагальнений вигляд:

якщо (X = низька) I (X = середня) I (X = висока)

I (Y = низька) I (Y = середня) I (Y = висока)

I (Z = рулонна) I (Z = аркушева),

тоді (P = низька) I (P = середня) I (P = висока).

Відповідно до сформульованих вище умов побудуємо матрицю знань (табл. 2), що узагальнює зв'язки між якісними термами, заданими формулою (1), та відповідними термами лінгвістичної змінної P .

Таблиця 2

Матриця знань для лінгвістичної змінної

Якість структурування видання X	Якість технологічних процедур Y	Якість обладнання Z (тип друк. машини)	Якість реалізації монтажних спусків P
низька	низька	рулонна	низька
низька	низька	аркушева	
середня	середня	рулонна	середня
висока	середня	аркушева	
висока	висока	рулонна	висока
середня	висока	рулонна	

Дана матриця знань породжує нечіткі логічні рівняння, що визначать процедури отримання значень ФН для множини термів інтегрального показника якості реалізації монтажних спусків, урахуваючи об'єднані операцією логічного додавання « \vee » два варіанти вихідних значень (лінгвістичних термів) лінгвістичних змінних X, Y, Z .

Для терму «низька» отримаємо:

$$\mu_{\text{низька}}(P) = \mu_{\text{низька}}(X) \wedge \mu_{\text{низька}}(Y) \wedge \mu_{\text{рулонна}}(Z) \vee \mu_{\text{низька}}(X) \wedge \mu_{\text{низька}}(Y) \wedge \mu_{\text{аркушева}}(Z).$$

Функція належності стосовно терму «середній» матиме такий вигляд:

$$\mu_{\text{середня}}(P) = \mu_{\text{середня}}(X) \wedge \mu_{\text{середня}}(Y) \wedge \mu_{\text{рулонна}}(Z) \vee \mu_{\text{висока}}(X) \wedge \mu_{\text{середня}}(Y) \wedge \mu_{\text{аркушева}}(Z).$$

Терму «висока» відповідатиме функція

$$\mu_{\text{висока}}(P) = \mu_{\text{висока}}(X) \wedge \mu_{\text{висока}}(Y) \wedge \mu_{\text{рулонна}}(Z) \vee \mu_{\text{середня}}(X) \wedge \mu_{\text{висока}}(Y) \wedge \mu_{\text{рулонна}}(Z).$$

Експертні висловлювання щодо формування якості реалізації монтажних спусків на черговому рівні ієрархії стосуватимуться лінгвістичних змінних (ЛЗ) X, Y і Z . Проектуємо нечіткі бази знань, відповідні їм матриці знань і лінгвістичні рівняння для кожної з цих ЛЗ, урахуваючи множини $T(x_1, x_2, x_3, x_4)$, $T(y_1, y_2, y_3)$, $T(z)$.

Для лінгвістичної змінної «якість структурування видання» отримаємо узагальнений варіант логічного висловлювання:

якщо $(x_1) = (\text{малий, середній, великий})$,

$I(x_2) = (\text{малий, середній, великий})$,

$I(x_3) = (\text{складний, неповний, повний})$,

$I(x_4) = (\text{клейовий, комбінований, нитками})$,

тоді $(X) = (\text{низька, середня, висока})$.

На підставі наведеного логічного висловлювання сформуємо матрицю знань (табл. 3), в якій лінгвістичні терми, що ідентифікують якість структурування видання, визначаються за допомогою двох варіантів якісного оцінювання факторів впливу на результат структурування.

Таблиця 3

**Матриця знань для лінгвістичної змінної
(якість структурування видання)**

Обсяг видання x_1	Формат видання x_2	Тип зошита x_3	Тип скріплення блока x_4	Якість структурування видання X
великий	малий	складний	клейовий	низька
великий	середній	неповний	клейовий	
середній	середній	повний	комбінований	середня
великий	середній	повний	комбінований	
малий	середній	неповний	нитками	висока
середній	великий	повний	нитками	

Аналогічно попередньому запишемо нечіткі логічні рівняння для розрахунку значень функцій належності ЛЗ X стосовно термів $T(x_1, x_2, x_3, x_4)$.

Для терму «низька» отримаємо:

$$\begin{aligned} \mu_{\text{низька}}(X) &= \mu_{\text{великий}}(x_1) \wedge \mu_{\text{малий}}(x_2) \wedge \mu_{\text{складний}}(x_3) \wedge \mu_{\text{клеювий}}(x_4) \\ &\vee \mu_{\text{великий}}(x_1) \wedge \mu_{\text{середній}}(x_2) \wedge \mu_{\text{неповний}}(x_3) \wedge \mu_{\text{клеювий}}(x_4). \end{aligned}$$

Функція належності для терму «середня» матиме наступний вигляд:

$$\begin{aligned} \mu_{\text{середня}}(X) &= \mu_{\text{середній}}(x_1) \wedge \mu_{\text{середній}}(x_2) \wedge \mu_{\text{повний}}(x_3) \wedge \mu_{\text{комбінований}}(x_4) \\ &\vee \mu_{\text{великий}}(x_1) \wedge \mu_{\text{середній}}(x_2) \wedge \mu_{\text{повний}}(x_3) \wedge \mu_{\text{комбінований}}(x_4). \end{aligned}$$

Терму «висока» відповідатиме функція належності

$$\begin{aligned} \mu_{\text{висока}}(X) &= \mu_{\text{малий}}(x_1) \wedge \mu_{\text{середній}}(x_2) \wedge \mu_{\text{неповний}}(x_3) \wedge \mu_{\text{нитками}}(x_4) \\ &\vee \mu_{\text{середній}}(x_1) \wedge \mu_{\text{великий}}(x_2) \wedge \mu_{\text{повний}}(x_3) \wedge \mu_{\text{нитками}}(x_4). \end{aligned}$$

Задамо узагальнений варіант логічного висловлювання для ЛЗ «якість технологічних процедур»:

$$\begin{aligned} \text{якщо } (y_1) &= (\text{вкладанням, впідбір}) \\ \text{I } (y_2) &= (\text{низька, середня, висока}) \\ \text{I } (y_3) &= (\text{низька, середня, висока}), \\ \text{тоді } (Y) &= (\text{низька, середня, висока}). \end{aligned}$$

Будуємо матрицю знань (табл. 4), що відповідає наведеному висловлюванню.

Таблиця 4

**Матриця знань для лінгвістичної змінної Y
(якість технологічних процедур)**

Спосіб комплектування y_1	Тип фальцювання (якість) y_2	Розкладання звороту (якість) y_3	Якість технологічних процедур Y
вкладанням	низька	низька	низька
вкладанням	середня	низька	
впідбір	середня	середня	середня
вкладанням	висока	середня	
впідбір	висока	висока	висока
впідбір	середня	висока	

Розрахунок значень функцій належності ЛЗ Y «якість технологічних процедур» для $T(y_1, y_2, y_3)$ виконаємо за наступними логічними рівняннями.

Функція належності для терму «низька»:

$$\begin{aligned} \mu_{\text{низька}}(Y) &= \mu_{\text{вкладанням}}(y_1) \wedge \mu_{\text{низька}}(y_2) \wedge \mu_{\text{низька}}(y_3) \\ &\vee \mu_{\text{вкладанням}}(y_1) \wedge \mu_{\text{середня}}(y_2) \wedge \mu_{\text{низька}}(y_3). \end{aligned}$$

Терму «середня» відповідатиме така функція належності

$$\begin{aligned}\mu_{\text{середня}}(Y) &= \mu_{\text{втібір}}(y_1) \wedge \mu_{\text{середня}}(y_2) \wedge \mu_{\text{середня}}(y_3) \\ &\vee \mu_{\text{вкладанням}}(y_1) \wedge \mu_{\text{висока}}(y_2) \wedge \mu_{\text{середня}}(y_3).\end{aligned}$$

Відносно терму «висока» дістанемо функцію належності

$$\begin{aligned}\mu_{\text{висока}}(Y) &= \mu_{\text{втібір}}(y_1) \wedge \mu_{\text{висока}}(y_2) \wedge \mu_{\text{висока}}(y_3) \\ &\vee \mu_{\text{втібір}}(y_1) \wedge \mu_{\text{середня}}(y_2) \wedge \mu_{\text{висока}}(y_3).\end{aligned}$$

Нечітке логічне висловлювання, що ідентифікує якість обладнання – лінгвістичну змінну Z , матиме такий вигляд:

$$\begin{aligned}\text{якщо } (z) &= (\text{аркушева, рулонна}) \\ \text{тоді } (Z) &= (\text{низька, середня, висока}).\end{aligned}$$

Остаточню нечітку множину лінгвістичної змінної P для функцій належності трьох нечітких термів «низька», «середня», «висока» і відповідних їм за кількістю значень змінної P буде такою:

$$P(X, Y, Y) = \left\{ \frac{\mu_{\text{низька}}(P)}{d_1}, \frac{\mu_{\text{середня}}(P)}{d_2}, \frac{\mu_{\text{висока}}(P)}{d_3} \right\}, \quad (2)$$

де d_1, d_2, d_3 – кількісні значення змінної P стосовно вказаних вище термів.

Для виконання етапу дефазифікації сформуємо для виокремлених лінгвістичних змінних таблиці на основі отриманих вище терм-множин з пронормованими значеннями функцій належності в п'яти точках поділу універсальної множини значень D (табл. 5–12).

Таблиця 5

**Функції належності терм-множини $T(x_1)$
(обсяг видання)**

d_i , фізичних аркушів	2	8	14	18	24
$\mu_{\text{малий}}(d_i)$	1	0,55	0,33	0,22	0,11
$\mu_{\text{середній}}(d_i)$	0,11	0,89	1	0,33	0,11
$\mu_{\text{високий}}(d_i)$	0,11	0,22	0,44	0,78	1

Таблиця 6

**Функції належності терм-множини $T(x_2)$
(формат видання)**

d_i , см ²	315	338	390	472	567
$\mu_{\text{малий}}(d_i)$	1	0,78	0,33	0,22	0,11
$\mu_{\text{середній}}(d_i)$	0,11	0,44	1	0,78	0,22
$\mu_{\text{високий}}(d_i)$	0,11	0,22	0,44	0,66	1

Таблиця 7

**Функції належності терм-множини $T(x_3)$
(тип зошита)**

d_i , у. о.	1	2	3	4	5
$\mu_{\text{складний}}(d_i)$	1	0,45	0,30	0,11	0,05
$\mu_{\text{неповний}}(d_i)$	0,35	0,80	1	0,33	0,15
$\mu_{\text{повний}}(d_i)$	0,11	0,22	0,44	0,66	1

Таблиця 8

**Функції належності терм-множини $T(x_4)$
(тип скріплення блока)**

d_i , у. о.	64	256	416	576	768
$\mu_{\text{клеювий}}(d_i)$	1	0,33	0,22	0,11	0,06
$\mu_{\text{комбінований}}(d_i)$	0,22	1	0,44	0,33	0,22
$\mu_{\text{нитками}}(d_i)$	0,11	0,44	0,66	0,89	1

Таблиця 9

**Функції належності терм-множини $T(y_1)$
(спосіб комплектування)**

d_i , сторінок	4	192	384	570	768
$\mu_{\text{вкладанням}}(d_i)$	1	0,33	0,20	0,11	0,06
$\mu_{\text{впідбір}}(d_i)$	0,04	0,45	0,70	0,89	1

Таблиця 10

**Функції належності терм-множини $T(y_2)$
(точність фальцювання)**

d_i , мм	1,5	1,9	2,3	2,7	3
$\mu_{\text{низька}}(d_i)$	0,11	0,22	0,6	0,92	1
$\mu_{\text{середня}}(d_i)$	0,44	0,9	1	0,44	0,22
$\mu_{\text{висока}}(d_i)$	1	0,44	0,16	0,11	0,06

Таблиця 11

**Функції належності терм-множини $T(y_3)$
(точність суміщення при розкладанні звороту)**

d_i , мм	0	0,5	1	1,5	2
$\mu_{\text{низька}}(d_i)$	0,11	0,20	0,28	0,44	1
$\mu_{\text{середня}}(d_i)$	0,22	0,44	0,96	1	0,22
$\mu_{\text{висока}}(d_i)$	1	0,88	0,16	0,10	0,06

Таблиця 12

**Функції належності терм-множини $T(z)$
(тип друкарської машини)**

d_p у. о.	1	2	3	4	5
$\mu_{\text{аркушева}}(d_i)$	1	0,85	0,60	0,22	0,10
$\mu_{\text{рулонна}}(d_i)$	0,06	0,20	0,78	0,90	1

Підставимо в нечіткі логічні рівняння, що визначають процедури отримання значень функцій належності стосовно термів множини T , їх значення з табл. 5–12. Для лінгвістичної змінної X отримаємо такі результати:

$$\mu_{\text{низька}}(X) = 0,78 \wedge 0,78 \wedge 0,45 \wedge 0,22 \vee 0,78 \wedge 0,44 \wedge 0,8 \wedge 0,22 = 0,22;$$

$$\mu_{\text{середня}}(X) = 0,89 \wedge 1 \wedge 0,5 \vee 0,44 \wedge 0,78 \wedge 1 \wedge 0,8 \wedge 0,44 = 0,44;$$

$$\mu_{\text{висока}}(X) = 0,55 \wedge 1 \wedge 0,33 \wedge 0,66 \vee 0,89 \wedge 0,66 \wedge 0,80 \wedge 0,66 = 0,66.$$

Аналогічно для лінгвістичної змінної Y матимемо:

$$\mu_{\text{низька}}(Y) = 0,33 \wedge 0,60 \wedge 0,44 \vee 0,33 \wedge 1 \wedge 0,44 = 0,33;$$

$$\mu_{\text{середня}}(Y) = 0,70 \wedge 1 \wedge 0,96 \vee 0,20 \wedge 1 \wedge 0,96 = 0,44;$$

$$\mu_{\text{висока}}(Y) = 0,89 \wedge 1 \wedge 0,88 \vee 0,89 \wedge 0,90 \wedge 0,88 = 0,89.$$

Відповідно до моделі логічного виведення, відношення (1), матриці знань (табл. 2) та отриманих вище вагомостей функцій належності лінгвістичних змінних X, Y, Z одержимо такі підсумкові числові значення функцій належності для лінгвістичної змінної P щодо трьох нечітких термів:

$$\mu_{\text{низька}}(P) = 0,22 \wedge 0,33 \wedge 0,20 \vee 0,22 \wedge 0,33 \wedge 0,60 = 0,22$$

$$\mu_{\text{середня}}(P) = 0,44 \wedge 0,70 \wedge 0,78 \vee 0,50 \wedge 0,70 \wedge 0,85 = 0,50$$

$$\mu_{\text{висока}}(P) = 0,66 \wedge 0,89 \wedge 0,90 \vee 0,44 \wedge 0,89 \wedge 0,90 = 0,66.$$

Розрахунок кількісного значення оцінки якості процесу реалізації кінцевих монтажних спусків книжкових видань здійснимо, виконавши дефазифікацію нечіткої множини (2) за принципом центра ваги [10]:

$$P = \frac{\sum_{i=1}^m \left[\underline{P} + (i-1) \frac{\bar{P} - \underline{P}}{m-1} \right] \mu_i(P)}{\sum_{i=1}^m \mu_i(P)}, \quad (3)$$

де \underline{P}, \bar{P} — відповідно мінімальне і максимальне значення показника якості; m — кількість нечітких термів.

Для обчислення за формулою (3) прийємо умовні межі для змінної P , а саме (1–10) у. о. Відповідно до трьох термів нечіткого оцінювання P розрахунків виконаємо за трьома точками вказаного інтервалу — 1, 5, 10. Отримаємо таке числове значення показника якості процесу реалізації монтажних спусків:

$$P_{\text{прогноз.}} = \frac{1 \cdot 0,22 + 5 \cdot 0,50 + 10 \cdot 0,66}{0,22 + 0,50 + 0,66} = 6,75 \text{ у.о.}$$

При наявності програми обчислення значень функцій належності лінгвістичних змінних X , Y , Z , P можна одержати потрібне значення показника якості, тобто керувати процесом реалізації монтажних спусків видань, змінюючи вихідні значення факторів у межах інтервалів, визначених у табл. 1.

У результаті дослідження запроєктовано нечітку базу знань, що містить нечіткі лінгвістичні терми оцінювання вагомості лінгвістичних змінних — факторів впливу на якість реалізації монтажних спусків. Побудовано систему нечітких логічних рівнянь й отримано значення функцій належності інтегрального показника якості досліджуваного процесу. Здійснено дефазифікацію нечіткої множини, що характеризує лінгвістичну змінну P , та одержано числове значення показника якості реалізації монтажних спусків книжкових видань.

1. Голубник Т. С. Синтез моделей факторів прогнозування якості формування монтажного спуску книжкових видань / Т. С. Голубник, В. М. Сеньківський // Поліграфія і видавнича справа: наук.–техн. зб. — Львів: Укр. акад. друкарства. — 2014. — № 1–2 (65–66). — С. 56–62. 2. Голубник Т. С. Засади нечіткої логіки при забезпеченні якості формування монтажних спусків / Т. С. Голубник, І. В. Піх, В. М. Сеньківський // Наукові записки: наук.–техн. зб. Львів : Укр. акад. друкарства. — 2014. — № 1–2 (46–47). — С. 77–83. 3. Заде Л. А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л. А. Заде. — М.: Мир, 1976. — 165 с. 4. Заде Л. Роль мягких вычислений и нечеткой логики в понимании, конструировании и развитии информационных интеллектуальных систем / Л. Заде // Новости искусственного интеллекта. — М., 2001. — № 2–3. — С. 7–11. 5. Зайченко Ю. П. Дослідження операцій: підруч. / Ю. П. Зайченко. — К. : Вид. Дім «Слово», 2006. — 816 с. 6. Зайченко О. Ю. Дослідження операцій. Збірник задач / О. Ю. Зайченко, Ю. П. Зайченко. — К. : Вид. Дім «Слово», 2007. — 472 с. 7. Ротштейн О. П. Soft Computing в біотехнології: багатофакторний аналіз і діагностика: моногр. / О. П. Ротштейн, Є. П. Ларушкін, Ю. І. Мітюшкін. — Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. — 144 с. 8. Ротштейн А. П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткие множества, нейронные сети, генетические алгоритмы / А. П. Ротштейн. — Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 1999. — 320 с. 9. Сеньківський В. М. Ранжування факторів впливу на якість формування монтажних спусків / В. М. Сеньківський, Т. С. Голубник // Поліграфія і видавнича справа: наук.–техн. зб. — Львів: Укр. акад. друкарства. — 2013. — № 1–2 (61–62). — С. 51–57. 10. Сявавко М. С. Інформаційна система «Нечіткий експерт» / М. С. Сявавко. — Львів : Вид. центр ЛНУ імені Івана Франка, 2007. — 320 с. 11. Штовба С. Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С. Д. Штовба. — М. : Горячая линия – Телеком, 2007. — 288 с.

НЕЧЕТКАЯ БАЗА ЗНАНИЙ И НЕЧЕТКИЕ ЛОГИЧЕСКИЕ УРАВНЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ РЕАЛИЗАЦИИ МОНТАЖНЫХ СПУСКОВ

Построены нечеткая база знаний и система нечетких логических уравнений, определяющих процедуры получения весомостей функций принадлежности для расче-

та числового значення інтегрального показателя качества реалізації монтажних спусков книжних изданій.

**UNCLEAR BASE OF KNOWLEDGE AND UNCLEAR LOGICAL
EQUALIZATIONS IN THE PROCESS OF REALIZATION OF
ASSEMBLING LOWERING**

We construct a fuzzy knowledge base and system of fuzzy logic equations that define the procedures for obtaining the weight of membership functions to calculate the numerical value of the integral indicator of the quality of implementation mounting slopes book editions.

Стаття надійшла 17.09.2014