

МЕТОД ПОБУДОВИ НЕЧІТКИХ ВІДНОШЕНЬ „ПРИЧИНИ-НАСЛІДКИ” ІЗ ПРАВИЛ ЯКЩО-ТО ДЛЯ РОЗВ’ЯЗАННЯ ЗАДАЧ ДІАГНОСТИКИ

У статті розглядається метод видобування нечітких відношень із правил ЯКЩО-ТО, який дозволяє оперувати з невизначеністю функцій належності нечітких термів, а також з розбіжністю в наслідкових частинах ТО експертних тверджень.

Самойлов І.В., Шевченко А.С., Артюх С.Г. Метод построения нечетких отношений „причины-последствия” из правил ЕСЛИ-ТО для решения задач диагностики. В статье рассматривается метод построения нечетких отношений из правил ЕСЛИ-ТО, который позволяет оперировать с неопределенностью функции принадлежности нечетких терминов, а также с отличием в частях ТО экспертных правил.

I. Samoylov, A. Shevchenko, S. Artuh The method of construction of fuzzy relations „cause-effect” of IF-THEN rules for solving diagnostic tasks. The method of construction fuzzy relations on IF-THEN rules, which allows operate with the uncertainty of the membership functions of fuzzy terms and with distinction in parts THEN of expert rules is considered in the article.

Ключові слова: діагностика, нечіткі відношення, причини-наслідки, правила ЯКЩО-ТО, нечітка база знань, функція належності.

Актуальність. Сучасні технічні системи є складними апаратно-програмними комплексами, що постійно вдосконалюються, розвиваються та модернізуються. Використання таких систем у провідних високотехнологічних сферах (зв’язок, системи управління, телекомунікації тощо) вимагає забезпечення високого рівня надійності їх функціонування. Одним із методів підвищення надійності є розроблення і впровадження ефективних апаратно-програмних засобів діагностування. Однією з центральних задач діагностики є встановлення причин виникнення несправностей та їх усунення.

На сьогодні актуальною науково-технічною проблемою є створення систем діагностування, які можуть опрацьовувати нечітку діагностичну інформацію. У базах знань таких систем міститься не тільки кількісна інформація, що характеризує стан об’єкта діагностики, а і якісна інформація, яка являє собою експертні оцінки. Однією з задач при проектуванні складних діагностичних систем, є задача створення моделі об’єкта діагностики, яка полягає в побудові оператора зв’язку між причинами та наслідками за експериментальними даними, які є в наявності. В умовах невизначеності для побудови такої моделі зручно використовувати нечіткі відношення (НВ) і композиційне правило виведення Заде [1].

Аналіз публікацій. Серед методів побудови НВ найбільш поширеними є експертні методи. До експертних методів належить зокрема модифікований метод парних порівнянь Сааті [2]. Метод полягає в тому, що експерт обирає оцінку, попарно порівнюючи варіанти. Оцінки виражаються словами “немає переваги, мала перевага, велика перевага, абсолютна перевага тощо”. Джерелом невизначеності може вважатись те, що різні люди розуміють слова, тобто порівняльні оцінки, по-різному. Крім того, якщо два варіанти порівнює група експертів, то буде отримана гістограма порівняльних оцінок. Якщо вибрати порівняльну оцінку за принципом більшості, це буде означати, що наслідки невизначеності повністю проігноровані. Тому необхідно розробити алгоритми побудови НВ II типу на базі експертних парних порівнянь, що здатні враховувати гістограму порівняльних оцінок і невизначеність через розуміння слів.

НВ можуть бути отримані із експертних правил ЯКЩО-ТО [3, 4]. При цьому, якщо для побудови нечіткої бази знань залучена група експертів, то буде отримана гістограма частин ТО в кожному правилі. Крім того, в правила входять нечіткі терми. Так само, як і в попередньому випадку, різні люди вкладають різний зміст в слова (терми), що описують

причини і наслідки, а також в слова, що описують ступінь впливу причини на виникнення наслідку. Тому виникає невизначеність щодо значень слів та розбіжності в наслідкових частинах експертних тверджень. Отже необхідно розробити алгоритми видобування НВ II типу з експертних правил ЯКЦО-ТО, що здатні враховувати гістограму частин ТО і невизначеність через розуміння слів.

Реалізація експертних методів побудови НВ в умовах невизначеності може здійснюватись наступними шляхами [3, 4, 5, 6]:

1. Вибрати варіант рішення (порівняльну оцінку або частину ТО експертного правила), який був обраний максимальною кількістю експертів.

2. Представити варіант рішення як зважену середню оцінку з урахуванням частоти появи кожного з можливих варіантів.

3. Врахувати всі можливі варіанти експертних рішень шляхом побудови множини систем з урахуванням ваги кожного рішення.

В першому випадку невизначеність, пов'язана із розбіжністю у висновках експертних тверджень, буде повністю проігнорована. В останньому випадку побудова моделі, що враховує всі варіанти, пов'язана з обчислювальними складностями.

Тому на практиці знайшов застосування підхід (другий варіант), який розглядає вихідну лінгвістичну оцінку (порівняльну оцінку або частину ТО правила) як зважене середнє можливих варіантів. Кожна вихідна нечітка множина замінюється її центроїдом, що дозволяє обчислити середнє зважене значення. В якості ваги обирається частота появи лінгвістичної оцінки.

Отримані середні значення використовуються як центри класів у виконанні операції дефазифікації. Побудована таким чином модель буде враховувати невизначеність, пов'язану із розбіжностями в наслідкових частинах експертних висловлювань, і невизначеність через розуміння слів, що використовуються для побудови НВ.

Мета роботи. Запропонувати метод побудови нечітких відношень із правил ЯКЦО-ТО, який дозволяє враховувати невизначеність в розумінні слів, що використовуються при побудові нечіткої бази знань і невизначеність через розбіжність в наслідкових частинах ТО експертних правил.

Постановка задачі. Нехай відомо:

– $D = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}$ – множина причин, які підлягають порівнянню з точки зору впливу на виникнення наслідків;

– $S = \{s_1, s_2, \dots, s_m\}$ – множина наслідків, які означають зміни кількісних або якісних параметрів стану об'єкта;

– $V_1 = \{v_1^1, v_2^1, \dots, v_{q_1}^1\}$, $V_2 = \{v_1^2, v_2^2, \dots, v_{q_2}^2\}$, ..., $V_m = \{v_1^m, v_2^m, \dots, v_{q_m}^m\}$ – множина лінгвістичних оцінок вихідної змінної y_j , $j = \overline{1, m}$, де q_j – кількість елементів множини V_j .

Причинно-наслідкові зв'язки будемо формалізувати нечіткими правилами ЯКЦО-ТО вигляду:

ЯКЦО міра значимості причини d_i дорівнює одиниці

I міри значимості усіх інших причин дорівнюють нулю

ТО $y_j = T_{ij}$, (1)

де $T_{ij} = V_j$, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, m}$.

Необхідно видобути із нечітких правил ЯКЦО-ТО вигляду (1) нечіткі відношення $r_{ij} \subset d_i \times s_j$.

Спочатку розглянемо процедуру побудови НВ в умовах відсутності невизначеності.

Нехай залежність „причина-наслідки” описується за допомогою експертної матриці знань (таблиця 1).

Таблиця 1

Експертна матриця знань „причини - наслідки”				
ЯКЩО ВХОДИ	ТО ВИХОДИ			
	y_1	y_2	...	y_m
$x_1 = d_1$	T_{11}	T_{12}	...	T_{1m}
$x_2 = d_2$	T_{21}	T_{22}	...	T_{2m}
...
$x_n = d_n$	T_{n1}	T_{n2}	...	T_{nm}

Цій матриці відповідає нечітка база знань (БЗ):

$$\text{ЯКЩО } x_i = d_i \text{ ТО } y_j = T_{ij}, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, m}, \quad (2)$$

де $T_{ij} \in V_j$ – лінгвістичний терм, що описує змінну y_j в i -му рядку і j -му стовпці матриці знань, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, m}$.

Лінгвістичні оцінки в нечіткій БЗ (2) формалізуються функціями належності (ФН) І типу [7]. В цьому випадку невизначеність щодо значення слів, що використовуються при побудові нечіткої БЗ, повністю ігнорується. Для побудови таких ФН можуть бути використані експериментальні дані „причина – допустимі діапазони зміни параметрів стану”, які представлені в таблиці 2. Структура таблиці 2 аналогічна структурі експертної матриці знань.

Таблиця 2

Співвідношення „причини - діапазони зміни параметрів стану”				
Причини	Виходи			
	y_1	y_2	...	y_m
d_1	$[\underline{y}_1^1, \overline{y}_1^1]$	$[\underline{y}_2^1, \overline{y}_2^1]$	...	$[\underline{y}_m^1, \overline{y}_m^1]$
d_2	$[\underline{y}_1^2, \overline{y}_1^2]$	$[\underline{y}_2^2, \overline{y}_2^2]$	...	$[\underline{y}_m^2, \overline{y}_m^2]$
...
d_n	$[\underline{y}_1^n, \overline{y}_1^n]$	$[\underline{y}_2^n, \overline{y}_2^n]$	...	$[\underline{y}_m^n, \overline{y}_m^n]$

Будемо інтерпретувати співвідношення „причина d_i – допустимі діапазони зміни параметрів стану $[\underline{y}_j^i, \overline{y}_j^i]$ ” функціями належності параметрів стану до причин $\mu^{d_i}(y_j)$ (рис. 1, а).

Нехай відомі ФН параметрів стану до наслідків $\mu^{s_j}(y_j)$ (рис. 1, б). Ці ФН можуть бути побудовані на основі експертної інформації про співвідношення „параметри стану – наслідки”.

Із системи рівнянь НВ [8] випливає, що нечіткі відношення r_{ij} – це міра значимості наслідку b_j за умови, що міра значимості a_i причини d_i дорівнює 1, а міри значимості усіх інших причин a_l , $l = \overline{1, n}$, $l \neq i$, дорівнює 0. Оскільки міра значимості b_j залежить від значення параметра стану y_j , то можна розглядати НВ r_{ij} як міру значимості наслідку b_j , якщо значення параметра стану становить $y_j(a_i = 1, a_l = 0) = [\underline{y}_j^i, \overline{y}_j^i]$, тобто

$$r_{ij} = b_j(y_j = [\underline{y}_j^i, \overline{y}_j^i]).$$

Тоді НВ r_{ij} , $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, m}$, може бути визначене за формулою:

$$r_{ij} = \sup[\min(\mu^{d_i}(y_j), \mu^{s_j}(y_j))], \quad (3)$$

де $\sup[\min(\mu^{d_i}(y_j), \mu^{s_j}(y_j))]$, відповідає точці a на рис. 1, в.

Таким чином алгоритм видобування НВ I типу з правил ЯКЩО-ТО для випадку, коли відсутні джерела невизначеності, включає такі кроки:

- на основі даних таблиці 2 побудувати ФН I типу параметрів стану до причин $\mu^{d_i}(y_j)$, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, m}$;
- побудувати ФН I типу параметрів стану до наслідків $\mu^{s_j}(y_j)$, $j = \overline{1, m}$;
- використовуючи формулу (3) обчислити значення НВ.

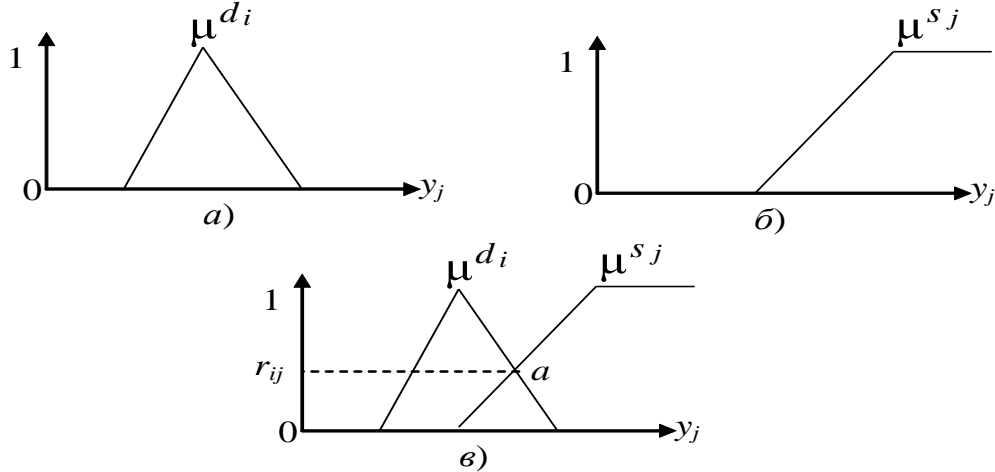


Рис. 1. Функції належності I типу вихідної змінної до нечітких термів причин (а), наслідку (б) і визначення нечіткого відношення (в)

Розглянемо метод побудови НВ у випадку, коли виникає невизначеність через розуміння слів, що використовуються при побудові нечіткої БЗ.

Нехай залежність „причина-наслідки” описується за допомогою експертної матриці знань (таблиця 3). Цій матриці відповідає нечітка БЗ:

$$\text{ЯКЩО } x_i = \tilde{d}_i, \quad \text{ТО } y_j = \tilde{T}_{ij}, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, m}, \quad (4)$$

де \tilde{T}_{ij} – лінгвістичний терм, що описує змінну y_j .

Таблиця 3

Експертна матриця знань „причини - наслідки”

ЯКЩО входи	ТО виходи			
	y_1	y_2	...	y_m
$x_1 = \tilde{d}_1$	\tilde{T}_{11}	\tilde{T}_{12}	...	\tilde{T}_{1m}
$x_2 = \tilde{d}_2$	\tilde{T}_{21}	\tilde{T}_{22}	...	\tilde{T}_{2m}
...
$x_n = \tilde{d}_n$	\tilde{T}_{n1}	\tilde{T}_{n2}	...	\tilde{T}_{nm}

Лінгвістичні оцінки в нечіткій БЗ (4) формалізуються ФН II типу [8]. Це дозволяє оперувати з невизначеністю щодо значень слів (нечітких термів), що використовуються при побудові нечіткої БЗ. Для побудови ФН II типу можуть бути використані експериментальні дані „причина – допустимі діапазони зміни параметрів стану”, які представлені в таблиці 4. На відміну від таблиці 2 таблиця 4 містить значення відхилень $\underline{\sigma}_j^i, \overline{\sigma}_j^i$ від середніх значень границь діапазонів $[\underline{y}_j^i, \overline{y}_j^i]$.

Будемо інтерпретувати співвідношення з таблиці 4 ФН II типу параметрів стану до причин $\mu^{\tilde{d}_i}(y_j)$ (рис. 2, а).

Нехай відомі ФН II типу параметрів стану до наслідків $\mu^{\tilde{s}_j}(y_j)$ (рис. 2, б). Будемо вважати, що ці функції належності отримані експертним шляхом.

Таблиця 4

Співвідношення „причина - діапазони зміни параметрів стану”

Причини	Виходи			
	y_1	y_2	...	y_m
d_1	$[\underline{y}_1^1, \bar{y}_1^1],$ $\underline{\sigma}_1^1, \bar{\sigma}_1^1$	$[\underline{y}_2^1, \bar{y}_2^1],$ $\underline{\sigma}_2^1, \bar{\sigma}_2^1$	...	$[\underline{y}_m^1, \bar{y}_m^1],$ $\underline{\sigma}_m^1, \bar{\sigma}_m^1$
d_2	$[\underline{y}_1^2, \bar{y}_1^2],$ $\underline{\sigma}_1^2, \bar{\sigma}_1^2$	$[\underline{y}_2^2, \bar{y}_2^2],$ $\underline{\sigma}_2^2, \bar{\sigma}_2^2$	...	$[\underline{y}_m^2, \bar{y}_m^2],$ $\underline{\sigma}_j^i, \bar{\sigma}_j^i$
...
d_n	$[\underline{y}_1^n, \bar{y}_1^n],$ $\underline{\sigma}_1^n, \bar{\sigma}_1^n$	$[\underline{y}_2^n, \bar{y}_2^n],$ $\underline{\sigma}_2^n, \bar{\sigma}_2^n$	...	$[\underline{y}_m^n, \bar{y}_m^n],$ $\underline{\sigma}_m^n, \bar{\sigma}_m^n$

Тоді нижня і верхня границі НВ $r_{ij} = [\underline{r}_{ij}, \bar{r}_{ij}]$, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, m}$, можуть бути визначені за формулами:

$$\underline{r}_{ij} = \sup[\min(\underline{\mu}^{\tilde{d}_i}(y_j), \underline{\mu}^{\tilde{s}_j}(y_j))], \tag{5}$$

$$\bar{r}_{ij} = \sup[\min(\bar{\mu}^{\tilde{d}_i}(y_j), \bar{\mu}^{\tilde{s}_j}(y_j))], \tag{6}$$

де $\sup[\min(\underline{\mu}^{\tilde{d}_i}(y_j), \underline{\mu}^{\tilde{s}_j}(y_j))]$, відповідає точці *a* на рис. 2, в,

$\sup[\min(\bar{\mu}^{\tilde{d}_i}(y_j), \bar{\mu}^{\tilde{s}_j}(y_j))]$, відповідає точці *b* на на рис. 2, в.

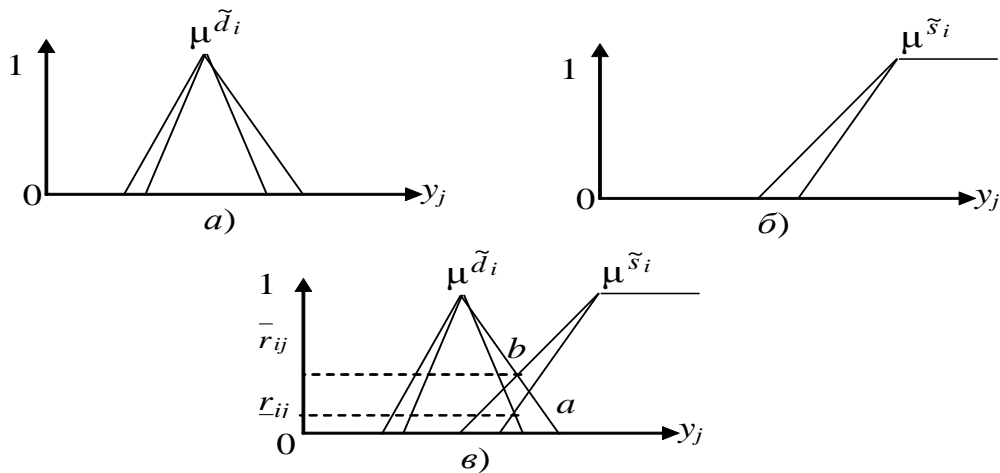


Рис. 2. Функції належності II типу вихідної змінної до нечітких термів причин (а), наслідку (б) і визначення нечіткого відношення (в)

Таким чином алгоритм видобутку НВ II типу з правил ЯКЩО-ТО за умови невизначеності через значення слів включає такі кроки:

– на основі даних таблиці 4 побудувати ФН II типу параметрів стану до причин $\mu^{\tilde{d}_i}(y_j)$, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, m}$;

– побудувати ФН II типу параметрів стану до наслідків $\mu^{\tilde{s}^j}(y_j)$, $j = \overline{1, m}$;

– використовуючи формули (5) і (6) обчислити значення нижніх і верхніх границь НВ.

Розглянемо метод побудови НВ II типу, коли до невизначеності через розумінням слів додаються розбіжності в наслідкових частинах ТО експертних правил.

Якщо для побудови нечіткої БЗ залучена група експертів, то буде отримана гістограма частин ТО в кожному експертному правилі. Вага правил може інтерпретуватись як частота вибору даної лінгвістичної оцінки в якості частини ТО. В цьому випадку залежність „причини-наслідки” може бути описана за допомогою m експертних матриць знань (таблиця 5). Цій матриці відповідає нечітка БЗ:

$$\begin{aligned} \text{ЯКЩО } x_i = \tilde{d}_i, \text{ ТО } y_j = \tilde{v}_1^j \text{ з вагою } w_{11}^j \text{ АБО } y_j = \tilde{v}_2^j \text{ з вагою } w_{12}^j \dots \\ \text{АБО } y_j = \tilde{v}_{q_j}^j \text{ з вагою } w_{1q_j}^j, \end{aligned} \quad (7)$$

де w_{ik}^j – вага правила з номером i, k , $i = \overline{1, n}$, $k = \overline{1, q_j}$.

Таблиця 5

Експертна матриця знань з гістограмою частин ТО

ЯКЩО входи	ТО вихід y_j			
	\tilde{v}_1^j	\tilde{v}_2^j	...	$\tilde{v}_{q_j}^j$
$x_1 = \tilde{d}_1$	w_{11}^j	w_{12}^j	...	$w_{1q_j}^j$
$x_2 = \tilde{d}_2$	w_{21}^j	w_{22}^j	...	$w_{2q_j}^j$
...
$x_n = \tilde{d}_n$	w_{n1}^j	w_{n2}^j	...	$w_{nq_j}^j$

Тоді, враховуючи гістограму частин ТО в правилах (7) та експериментальні дані, які представлені в таблиці 4, нижні і верхні ФН вихідних змінних до нечітких термів причин можуть бути визначені за формулами (рис. 3, а):

$$\underline{\mu}_{avg}^{\tilde{d}_i}(y_j) = \max_{k=1, q_j} (w_{ik}^j \cdot \underline{\mu}^{\tilde{v}_k^j}(y_j)); \quad (8)$$

$$\overline{\mu}_{avg}^{\tilde{d}_i}(y_j) = \max_{k=1, q_j} (w_{ik}^j \cdot \overline{\mu}^{\tilde{v}_k^j}(y_j)). \quad (9)$$

У цьому випадку нижня і верхня границі НВ $r_{ij} = [r_{ij}, \bar{r}_{ij}]$, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, m}$, визначаються за формулами:

$$r_{ij} = \sup[\min(\underline{\mu}_{avg}^{\tilde{d}_i}(y_j), \underline{\mu}^{\tilde{s}^j}(y_j))]; \quad (10)$$

$$\bar{r}_{ij} = \sup[\min(\overline{\mu}_{avg}^{\tilde{d}_i}(y_j), \overline{\mu}^{\tilde{s}^j}(y_j))], \quad (11)$$

де $\sup[\min(\underline{\mu}_{avg}^{\tilde{d}_i}(y_j), \underline{\mu}^{\tilde{s}^j}(y_j))]$ відповідає точці a на рис. 3, в,

$\sup[\min(\overline{\mu}_{avg}^{\tilde{d}_i}(y_j), \overline{\mu}^{\tilde{s}^j}(y_j))]$ відповідає точці b на рис. 3, в.

Таким чином алгоритм видобутку НВ II типу з правил ЯКЦО-ТО за умови лінгвістичної невизначеності та розбіжності в частинах ТО експертних правил включає такі кроки:

– за формулами (8) та (9) з урахуванням гістограми частин ТО побудувати ФН II типу параметрів стану до причин $\mu_{avg}^{\tilde{d}_i}(y_j)$, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, m}$;

– побудувати ФН II типу параметрів стану до наслідків $\mu^{\tilde{s}_j}(y_j)$, $j = \overline{1, m}$;

– використовуючи формули (10) та (11) обчислити нижні і верхні границі НВ.

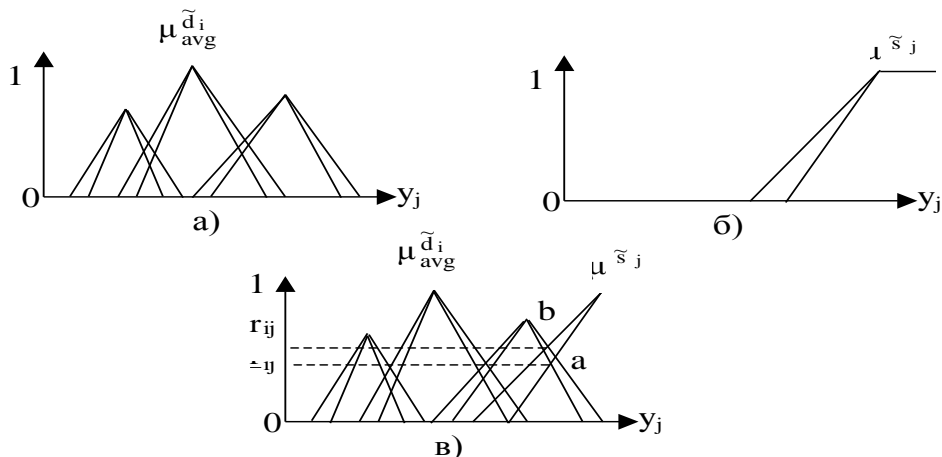


Рис. 3. Функції належності II типу вихідної змінної до нечітких термів причин (а), наслідку (б) і визначення нечіткого відношення (в)

Висновок. Таким чином, запропонований метод видобування нечітких відношень із нечітких баз знань дозволяє оперувати з невизначеністю функцій належності нечітких термів, а також з розбіжністю в наслідкових частинах експертних тверджень. Напрямом подальших досліджень є розгляд можливості застосування нейро-мережевого підходу для адаптивної корекції нижніх і верхніх границь нечітких відношень II типу на базі відомих значень нечітких відношень I типу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и её применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976. – 167 с.
2. Rotshtein A. Fuzzy Logic and Its Applications: Int. Conf. FUZZY'97 [„Modification of Saaty Method for the Construction of Fuzzy Set Membership Functions”], Zichron, Israel, 1997. – pp. 125 – 130.
3. Борисов А.Н. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений / А.Н. Борисов, А.Н. Алексеев, Г.В. Меркурьева. – Москва: Радио и связь, 1998. – 304 с.
4. Hirota K. Specificity shift in solving fuzzy relational equations / K. Hirota, W. Pedrycz // Fuzzy Sets and Systems. – 2007. – Vol. 106 (2). – pp. 211 – 220.
5. Ishikawa A. The max-min Delphi method and fuzzy Delphi method via fuzzy integration / A. Ishikawa, M. Amagase, R. Tatsuta // Fuzzy Sets and Systems. – 2005. – Vol. 55. – pp. 241 – 253.
6. Mendel J. Uncertain Rule-Based Fuzzy Logic Systems: Introduction and New Direction / J. Mendel. – Prentice Hall PTR, USA, 2011. – 520 p.
7. Mendel J. Uncertain Rule-Based Fuzzy Logic Systems: Introduction and New Direction. – Prentice Hall PTR, USA. – 2011. – 520 p.
8. Ротштейн А.П., Ракитянская А.Б. Решение задачи диагностики на основе нечетких отношений и генетического алгоритма // Кибернетика и системный анализ. – 2001. – № 6 – С. 162 – 170.