

МЕТОД ФОРМУВАННЯ НЕЧІТКОГО ЛОГІЧНОГО ВИСНОВКУ ІЗ ЗАЛУЧЕННЯМ ЕКСПЕРТНОГО КОМІТЕТУ

У роботі розглянуто використання методів експертних оцінок та нечіткої логіки для розв'язання задач прийняття рішень та моделювання складних економічних і соціальних систем. Запропоновано підхід на основі системи нечіткого логічного виведення із зваженою істинністю, що забезпечує врахування індивідуальних вагових коефіцієнтів критеріїв оцінювання об'єктів для кожного експерта при застосуванні експертним комітетом єдиної бази правил системи нечіткого логічного висновку.

Вступ

Розв'язання актуальних задач прийняття рішень та моделювання складних економічних і соціальних систем пов'язане з проблемою домінування якісних, невизначених та нечітких факторів. Серед методів урахування таких факторів значного поширення набули підходи на основі теорії нечітких множин (ТНМ) та нечіткій логіці Л. Заде [1].

Зазначимо, що для прийняття якісних рішень у реальних задачах необхідно спиратись на досвід, знання та інтуїцію фахівців-експертів, тому на практиці вдаються до спільного використання методів експертних оцінок та підходів на основі ТНМ [2, 3].

Актуальними практичними задачами прийняття рішень постають різногалузеві задачі багатокритеріального оцінювання і вибору варіантів експертними комітетами. Так, наприклад, в економічних системах такими задачами є задачі розподілу ресурсів, задачі оптимізації «портфелю», задачі вибору рішень з множини альтернативних варіантів тощо.

У загальному випадку задача багатокритеріального групового експертного оцінювання і вибору формулюється наступним чином. Нехай є множина запропонованих об'єктів $\mathbf{O} = \{O_i\}$, $i = \overline{1, n}$ та комітет експертів – $\mathbf{D} = \{D_t\}$, $t = \overline{1, k}$. Необхідно з множини об'єктів вибрати ті, що у найкращий спосіб відповідають деякій заданій цілі.

Загальна схема розв'язання таких задач виглядає наступним чином. Для об'єктів \mathbf{O} експертним комітетом \mathbf{D} визначається набір важливих критеріїв $\mathbf{C} = \{C_c\}$, $c = \overline{1, h}$, за якими буде здійснюватись оцінювання об'єктів [3].

Визначені критерії C_c , $c = \overline{1, h}$, за якими експерти будуть оцінювати проекти, можуть відрізнитись за своєю важливістю і, в результаті, мати різний вплив на рішення задачі. Більше того, кожний експерт може мати свою думку щодо ранжування та розподілу ваг критеріїв. Тому доцільно, щоб кожний експерт D_t надавав свої індивідуальні вагові коефіцієнти W_{ct} для кожного критерію C_c , де $c = \overline{1, h}$, $t = \overline{1, k}$. Крім цього, доцільним постає урахування значимості, досвіду, рівня підготовки, посади та інших характеристик експертів. Для цього експертним комітетом $\mathbf{D} = \{D_t\}$ колегіально, чи, як правило, його головою, задаються вагові коефіцієнти V_t оцінок експертів D_t , $t = \overline{1, k}$.

Потім об'єктам O_i , $i = \overline{1, n}$ кожним експертом D_t , $t = \overline{1, k}$ за кожним критерієм C_c , $c = \overline{1, h}$ надаються окремі суб'єктивні експертні оцінки S_{ict} . Зазначимо, що перевага за одним із критеріїв не залежить від того, які

значення приймають оцінки певного об'єкта за іншими критеріями [3, 4].

У практичних задачах прийнятним виявляється використання процедури зведення задачі багатокритеріального вибору до задачі однокритеріального вибору. Таким чином, вибір об'єктів буде відбуватись за узагальненою агрегованою оцінкою кожного об'єкта O_i – ступенем привабливості A_i , $i = \overline{1, n}$ об'єкта до певного критерію добору, що відповідає загальної цілі [3, 4].

Для знаходження узагальнених агрегованих оцінок об'єктів з урахуванням характерних для такого класу задач вищеописаних невизначеностей, зручним є застосування системи нечіткого логічного висновку (НЛВ) [4, 5].

Система НЛВ для одержання узагальнених оцінок об'єктів має h входів (кількість критеріїв оцінювання), та один вихід – власне узагальнена оцінка об'єкта. Вона використовується для кожного об'єкта O_i , $i = \overline{1, n}$ та для кожного експерта D_t , $t = \overline{1, k}$ окремо. Тобто система НЛВ відпрацьовує $n \cdot k$ циклів. За один цикл на вхід системи НЛВ подаються оцінки S_{ict} за критеріями C_c об'єкта O_i від експерта D_t , де $c = \overline{1, h}$. На виході система видає узагальнену чітку оцінку A_{it}^D об'єкта O_i від експерта D_t .

Потім на основі узагальнених за критеріями оцінок A_{it}^D та вагових коефіцієнтів експертів V_t , де $i = \overline{1, n}$, $t = \overline{1, k}$, здійснюється операція знаходження остаточної агрегованої оцінки кожного об'єкта O_i – ступеню привабливості A_i , де $i = \overline{1, n}$. Загальнопоширеним методом розрахунку таких агрегованих оцінок є зважена сума:

$$A_i = \frac{\sum_{t=1}^k V_t \cdot A_{it}^D}{\sum_{t=1}^k V_t} \quad (1)$$

Рішення задачі отримують шляхом вибору об'єктів з найкращими значеннями ступенів привабливості [3]. Наприклад, для задач розподілу ресурсів об'єктами, що оцінюються виступають проекти-кандидати на одержання ресурсів. Після визначення узагальнених ступенів привабливості проектів A_i для вибору проектів, між якими розподілять ресурси, розв'язують оптимізаційну задачу булевого програмування.

$$\sum_{i=1}^n A_i x_i \rightarrow \max,$$

при обмеженнях

$$\sum_{i=1}^n b_i x_i \leq B, \quad x_i \in \{0, 1\},$$

де $x_i = \begin{cases} 0, & \text{якщо проект } O_i \text{ не обирається} \\ 1, & \text{якщо проект } O_i \text{ обирається} \end{cases}$

$b = \{b_i\}$ – множина потреб відповідних проектів у ресурсах; B – загальне ресурсне обмеження.

Система НЛВ – це зручний механізм розв'язання задач прийняття рішень, який забезпечує прозорість алгоритму прийняття рішень, легкість його корегування, надає можливість враховувати кількісні значення та якісні характеристики систем, що моделюються.

Постановка задачі. Необхідно зазначити, що при наявних перевагах системи НЛВ мають недолік, що полягає у великій трудо- та ресурсомісткості побудови бази правил.

Оскільки кожний член експертного комітету може мати своє переконання щодо важливості того чи іншого критерію, то для підвищення якості рішення доцільно для оцінок кожного експерта D_t при відпрацюванні циклів системи НЛВ застосовувати його індивідуальну думку щодо рівня важливості критеріїв, яка виражається у вагових коефіцієнтах критеріїв W_{ct} , $c = \overline{1, h}$, $t = \overline{1, k}$. Проте структура правил НЛВ зумовлює

врахування важливості критеріїв у самих правилах, тобто причинно-наслідкові зв'язки між входами та виходом, які сформульовані в тому чи іншому правилі, за своїм змістом та суттю визначають залежність величини виходу від вхідних значень та взаємного відносного рівня важливості вхідних значень. Тому для врахування індивідуальних переваг і уподобань кожного експерта D_t щодо рівня важливості оцінок за критеріями найбільш коректним виявляється створення та використання індивідуальних баз правил для кожного експерта D_t [6].

Однак, цілком зрозуміло, що такий підхід до створення і використання індивідуальних баз правил для кожного експерта в реальних задачах прийняття рішень виявляється дорогим, трудо- та ресурсомістким, що зумовлює його неприйнятність для практичного застосування, і фактично для певних задач унеможливує використання систем НЛВ та їх переваг.

Необхідно розробити підхід до застосування системи НЛВ, який забезпечить врахування індивідуальних переваг кожного експерта щодо рівня важливості критеріїв оцінювання та буде придатним для застосування у практичних задачах.

Розв'язок задачі. Для розв'язання задач із залученням комітетів експертів пропонується застосовувати єдину для всіх експертів *систему НЛВ із зваженою істинністю* [7].

Система НЛВ. Розглянемо основні засади систем НЛВ. Нечіткий логічний висновок визначає відображення вектора вхідних даних у скалярне вихідне значення за допомогою нечітких правил [3, 5]. Система НЛВ, як показано на рис. 1,

складається з трьох основних компонентів: фазифікатора, механізму логічного висновку та дефазифікатора.

Фазифікатор визначає ступінь належності вхідних значень x_c , $c = \overline{1, h}$ до *нечітких множин входу* – лінгвістичних змінних з відповідної лінгвістичної шкали $T_{x_c} = \{T_{x_c}^1, T_{x_c}^2, \dots, T_{x_c}^{m_{x_c}}\}$, де m_{x_c} – кількість лінгвістичних змінних у шкалі для c -го входу, яка, як правило, є рівною для всіх входів. Необхідність у введенні процедури фазифікації зумовлена використанням у системі НЛВ лінгвістичних правил; вона здійснюється для визначення ступеня істинності кожної передумови кожного правила.

Ядром механізму логічного висновку є *база правил*, яка містить лінгвістичні правила. Ці правила можуть бути задані експертним шляхом, чи отримані із числових статистичних даних. Механізм логічного висновку відображає вхідні нечіткі множини $T_{x_c}^{any}$, $c = \overline{1, h}$ кожного правила у вихідну T_y^{any} з набору вихідних лінгвістичних змінних $T_y = \{T_y^1, T_y^2, \dots, T_y^{m_y}\}$. Правила в базі правил $Rules = \{Rule_j\}$, $j = \overline{1, r}$ мають наступний формат [3, 5]:

$$Rule_j = \text{"якщ } x_1 \in T_{x_1}^{any} \text{ і } x_2 \in T_{x_2}^{any} \dots \dots \text{ і } x_h \in T_{x_h}^{any}, \text{ т } y^j \in T_y^{any} \text{"}. \quad (2)$$

Відмінною рисою НЛВ є те, що порядок виконання правил не впливає на результат – правила аналізуються і виконуються паралельно.

Вихідні нечіткі множини y^j кожного правила об'єднуються в одну

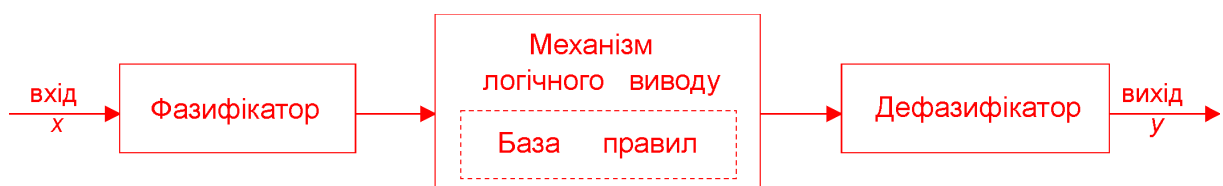


Рис. 1. Загальна схема системи нечіткого логічного висновку

нечітку множину висновку \tilde{y} . Далі дефазифікатор відображає нечітку множину виводу \tilde{y} у чітке число \bar{y} , яке і буде результатом системи НЛВ для заданих вхідних значень x_c , $c = \overline{1, h}$. Тобто діапазон вихідних значень дефазифікатор перетворює в одне числове значення, зручне для подальшого використання. На практиці користуються наступними методами дефазифікації [3]: центроїдний, методи максимуму, метод центру максимумів, висотна дефазифікація.

Процес нечіткого логічного висновку в системі НЛВ за Мамдані [3, 5] виглядає наступним чином.

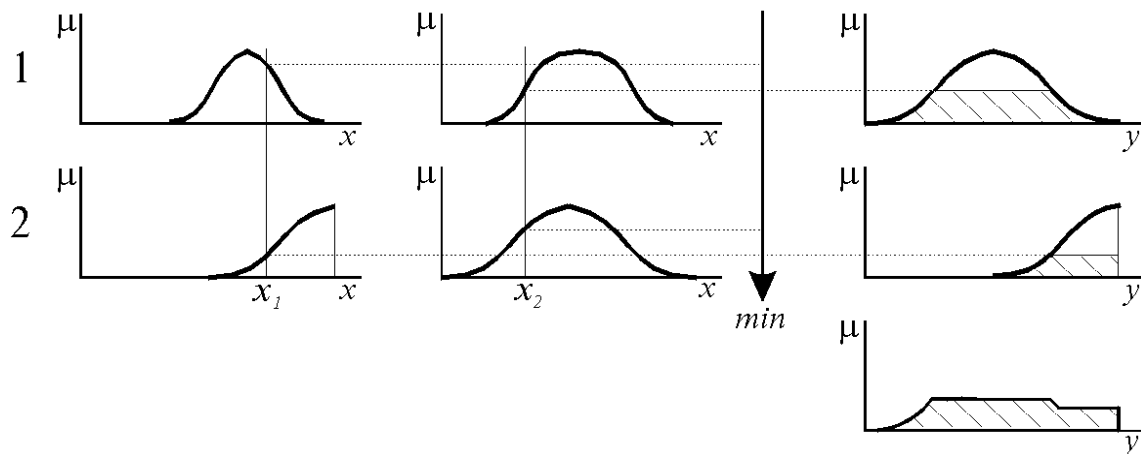


Рис. 2. Нечіткий логічний вивід Мамдані

База правил $Rules = \{Rule_j\}$, $j = \overline{1, r}$ складається з правил у вигляді (2). На етапі фазифікації визначаються ступені належності вхідних значень x_c , $c = \overline{1, h}$ до нечітких множин входу, тобто визначаються ступені істинності $\mu_c^j(x_c)$ для кожної передумови кожного правила $Rule_j$. Далі для кожного правила на основі ступенів істинності передумов μ_c^j розраховується ступінь його виконання α_j . Для цього застосовують композицію на основі оператора мінімуму:

$$\alpha_j = \min(\mu_1^j(x_1), \mu_2^j(x_2), \dots, \mu_n^j(x_n)), \quad j = \overline{1, r}. \quad (3)$$

Для кожного правила на основі ступеню виконання α_j , $j = \overline{1, r}$ розраховується результат його виконання – вихідна нечітка множина з усіченою функцією належності (ФН) $\ddot{\mu}^j(y)$. Визначення усіченої ФН, тобто операція імплікації, також відбувається за допомогою оператора мінімуму:

$$\ddot{\mu}^j(y) = \min(\alpha_j, \mu^j(y)), \quad j = \overline{1, r}. \quad (4)$$

Нечіткий логічний вивід Мамдані для системи НЛВ з двома входами та двома виконаними правилами графічно показано на рис. 2.

У системі НЛВ за Ларсеном ФН $\ddot{\mu}^j(y)$ результату виконання кожного правила розраховується на основі оператора добутку, на відміну від використання оператора мінімуму в (4):

$$\ddot{\mu}^j(y) = \alpha_j \cdot \mu^j(y), \quad j = \overline{1, r}.$$

Графічний приклад процедури нечіткого логічного висновку Ларсена показаний на рис. 3.

Механізм логічного висновку завершується тим, що вихідні нечіткі множини виконаних правил за допомогою оператора максимуму агрегуються в нечітку множину виводу \tilde{y} , функція належності якої має наступний вигляд:

$$\mu_{\tilde{y}} = \max(\ddot{\mu}^1(y), \ddot{\mu}^2(y), \dots, \ddot{\mu}^r(y)). \quad (5)$$

На останньому етапі знаходження остаточного результату \bar{y} для приведення до чіткості вдаються до процедури дефазифікації нечіткої множини [3]. Метод дефазифікації вибирається в залежності від конкретної задачі.

що визначається лінійною функцією:

$$Rule_j = \text{"якщ } x_1 \in T_{x_1}^{any} \text{ і } x_2 \in T_{x_2}^{any} \dots$$

$$\dots \text{ і } x_n \in T_{x_n}^{any}, \text{ т } \bar{y}^j = \sum_{i=1}^n a_i^j x_i + c^j,$$

де a_i^j ($i = \overline{1, n}$), c^j – константи [8].

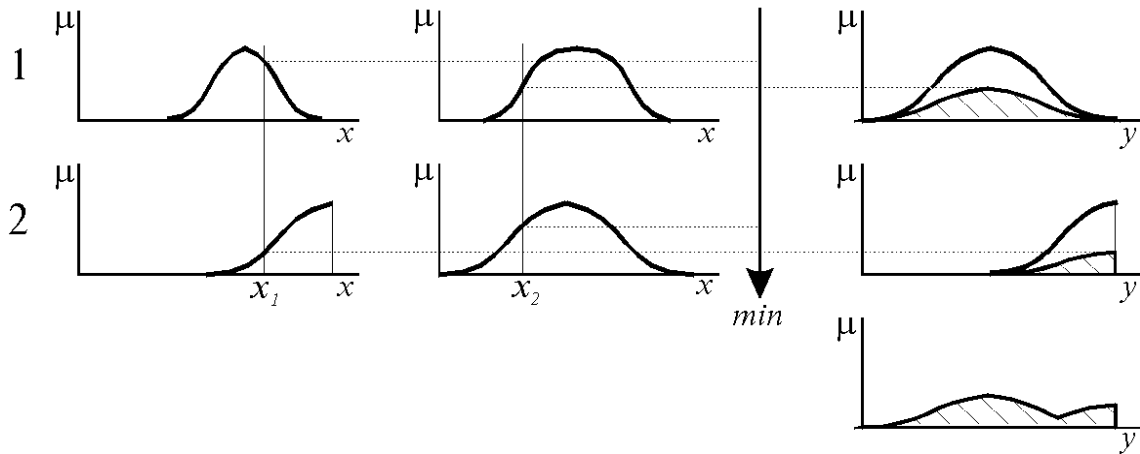


Рис. 3. Нечіткий логічний висновок Ларсена

Придатним для багатьох класів задач та найпоширенішим є центроїдний метод (рис. 4), що полягає у знаходженні центру ваги (центроїду) нечіткої множини \tilde{A} , який і обирається за результат A :

$$A = \frac{\int_{C_1}^{C_n} x f_{\tilde{A}}(x) dx}{\int_{C_1}^{C_n} f_{\tilde{A}}(x) dx}. \quad (6)$$

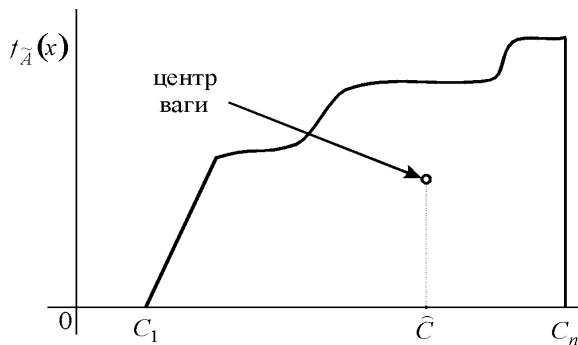


Рис. 4. Дефазифікація центроїдним методом

У системі нечіткого логічного виводу Сугено база правил $Rules = \{Rule_j\}$, $j = \overline{1, r}$ складається з правил, у яких виходом є чітке значення,

Остаточний результат логічного висновку \bar{y} розраховується як зважене середнє чітких результатів y^j виконаних правил, в якому ваговими коефіцієнтами виступають ступені виконання правил α_j .

Система НЛВ із зваженою істинністю. Опорна база правил в запропонованій системі НЛВ, що є єдиною для всього комітету, створюється консолідовано групою експертів $D = \{D_t\}$. Важливість $W_l = 1/h$ для всіх критеріїв $C = \{C_l\}$, $l = \overline{1, h}$ при складанні правил покладається рівною. При застосуванні запропонованої системи НЛВ для кожного експерта D_t , $t = \overline{1, k}$ відбувається корегування процесу логічного висновку з урахуванням його індивідуальних значень вагових коефіцієнтів W_{ct} критеріїв C_c , $c = \overline{1, h}$.

Звичайно вагові коефіцієнти W_{ct} є нормованими, і в таких випадках доцільно б було їх використовувати як корегувальні множники. Тобто в системі НЛВ за таким методом ступінь істинності кожної передумови μ_c^j , що відповідає критерію

C_c , правила $Rule_j$ помножується на відповідний ваговий коефіцієнт W_{ct} . Тоді за (3) ступінь виконання α_j правила $Rule_j$ при застосуванні системи НЛВ для експерта D_t буде визначатись наступним чином:

$$\alpha_j = \min \left(W_{1t} \cdot \mu_1^j(x_1), W_{2t} \cdot \mu_2^j(x_2), \dots, W_{ht} \cdot \mu_h^j(x_h) \right). \quad (7)$$

Для експертних оцінок об'єктів відповідно:

$$\alpha_j = \min \left(W_{1t} \cdot \mu_1^j(S_{ict}), W_{2t} \cdot \mu_2^j(S_{ict}), \dots, W_{ht} \cdot \mu_h^j(S_{ict}) \right).$$

Однак, у такому випадку значення оцінки за менш важливим критерієм, якому відповідає менше значення вагового коефіцієнта, буде спричиняти значний вплив на значення ступеню виконання α_j всього правила, тому що у процедурах композиції (3) та імплікації (4) відповідно до логічного «I» використовується оператор мінімуму [7]. Отже може виникати ситуація штучного заниження значення ступеню виконання певного правила α_j . Очевидно, що такий спосіб зважування ступенів істинності передумов правил для даної проблеми не є коректним.

Впровадження зворотних вагових коефіцієнтів $(1 - W_{ct})$ як корегувальних множників теж не забезпечує коректного відображення вагових співвідношень між значеннями оцінок за критеріями у розрахунку ступенів виконання правил. У такій ситуації найбільший вплив також може спричинити оцінка за менш важливим критерієм (при меншому ступені істинності передумови за цією оцінкою).

Для коректного врахування різних значень вагових коефіцієнтів оцінок експертів та забезпечення адекватної участі кожної оцінки у формуванні значення ступенів виконання правил і,

відповідно, в результаті логічного висновку при використанні єдиної бази правил пропонується для визначення ступеню виконання α_j правила в процедурі композиції ступенів істинності передумов правила (3, 7) замість оператора мінімуму використовувати певний спеціальний апарат зваженої агрегації значень ступенів істинності $\mu_c^j(x_c)$ передумов правила. При цьому правило виконується, якщо значення ступеню істинності $\mu_c^j(x_c)$ кожної передумови правила більше нуля. Запропонована система НЛВ із зваженою істинністю фактично сполучає позитивні моменти ідей Мамдані, Ларсена та Сугено.

В окремих випадках, через обчислювальну простоту доцільним виявляється застосування в процедурі композиції (3) зваженої суми значень оцінок, тобто лінійної комбінації значень оцінок за всіма критеріями та їх вагових коефіцієнтів. За таким підходом ступінь виконання α_j правила $Rule_j$ при застосуванні системи НЛВ для експерта D_t буде визначатись наступним чином:

$$\alpha_j = \sum_{c=1}^h W_{ct} \cdot \mu_c^j(x_c), \mu_c^j(x_c) > 0. \quad (8)$$

Для задачі багатокритеріального вибору, що розглянута, операція композиції для правила $Rule_j$ в процедурі нечіткого логічного висновку системи НЛВ із зваженою істинністю для об'єкта O_i та експерта D_t формулюється так:

$$\alpha_j = \sum_{c=1}^h W_{ct} \cdot \mu_c^j(S_{ict}), \mu_c^j(S_{ict}) > 0. \quad (9)$$

Необхідно зазначити, що запропонована система нечіткого логічного висновку із зваженою істинністю не є існуючою зваженою системою НЛВ. Ідея зваженої системи НЛВ полягає у тому, що кожному правилу $Rule_j$ надається своє значення ваги.

Приклад застосування системи НЛВ із зваженою істинністю. Розглянемо приклад застосування СНЛВ із зваженою істинністю для задачі розподілу інвестиційних ресурсів. Є п'ять альтернативних проектів $\mathbf{P} = \{P_i\}$, $i = \overline{1,5}$, та загальне бюджетне обмеження \mathbf{B} , яке складає 50 тис. грн. Експертний комітет складається з чотирьох експертів $\mathbf{D} = \{D_t\}$, $t = \overline{1,4}$. Необхідно у найкращий спосіб розподілити наявні бюджетні ресурси між запропонованими проектами.

Кожний експерт D_t для кожного проекту P_i надає оцінки S_{ict} за трьома критеріями $\mathbf{C} = \{C_c\}$, $c = \overline{1,3}$: C_1 – *прибутковість*, C_2 – *рівень виконавців проекту* та C_3 – *соціальна важливість проекту*. Експерти $\mathbf{D} = \{D_t\}$ для критеріїв оцінювання $\mathbf{C} = \{C_c\}$ задають індивідуальні вагові коефіцієнти W_{ct} . Нормовані значення вагових коефіцієнтів

критеріїв та критеріальні експертні оцінки проектів наведені в табл. 1.

Для одержання узагальнених оцінок проекту від кожного експерта, критеріальні оцінки кожного експерта агрегуємо за допомогою системи НЛВ із зваженою істинністю. Система НЛВ має 3 входи, що відповідають критеріям оцінювання та одне вихідне значення – ступінь привабливості проекту. Лінгвістичні змінні, що відповідають вхідним значенням, мають по три значення: *мала, середня, велика* (інтенсивність показника проекту), та графічно показані на рис. 5. Лінгвістична змінна виходу системи НЛВ також має три градації: *низька, середня, висока* (ступінь привабливості), показана на рис. 6. Для відповідних нечітких множин входу та виходу застосовуються трикутні функції належності. База правил системи НЛВ наведена в табл. 2. Ступінь виконання кожного правила визначається за (9), а процедура імплікації за Мамдані (4).

Таблиця 1. Критеріальні експертні оцінки проектів

Експерт, D_t	Критерій, C_c	Вага, W_{ct}	Оцінки проектів, P_i				
			P_1	P_2	P_3	P_4	P_5
D_1	C_1	0,558	0,335	0,405	0,499	0,432	0,628
	C_2	0,278	0,21	0,427	0,557	0,358	0,332
	C_3	0,164	0,585	0,632	0,608	0,459	0,792
D_2	C_1	0,579	0,528	0,28	0,331	0,489	0,4
	C_2	0,263	0,261	0,434	0,299	0,416	0,293
	C_3	0,158	0,768	0,708	0,592	0,63	0,687
D_3	C_1	0,475	0,477	0,526	0,33	0,56	0,637
	C_2	0,341	0,452	0,411	0,196	0,328	0,435
	C_3	0,184	0,545	0,738	0,432	0,581	0,739
D_4	C_1	0,528	0,482	0,456	0,432	0,602	0,671
	C_2	0,31	0,276	0,459	0,238	0,444	0,531
	C_3	0,162	0,779	0,625	0,39	0,393	0,675

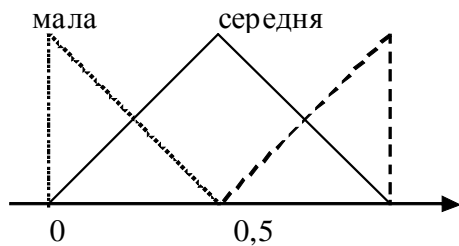


Рис. 5. Лінгвістична змінна входу системи НЛВ

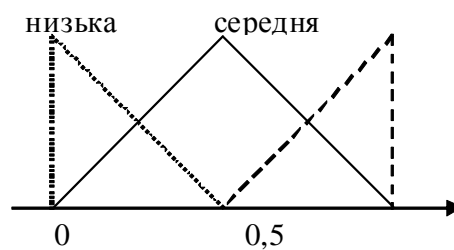


Рис. 6. Лінгвістична змінна виходу системи НЛВ

Таблиця 2. База правил прикладу

№	Правила нечіткого логічного висновку			
	Вхідні значення			Вихідне значення
	<i>прибутковість</i>	<i>рівень виконавців</i>	<i>соціальна важливість</i>	<i>ступінь привабливості</i>
1	мала	мала	мала	низька
2	мала	мала	середня	низька
3	мала	мала	велика	середня
4	мала	середня	мала	низька
5	мала	середня	середня	середня
6	мала	середня	велика	середня
7	мала	велика	мала	середня
8	мала	велика	середня	середня
9	мала	велика	велика	середня
10	середня	мала	мала	низька
11	середня	мала	середня	середня
12	середня	мала	велика	середня
13	середня	середня	мала	середня
14	середня	середня	середня	середня
15	середня	середня	велика	середня
16	середня	велика	мала	середня
17	середня	велика	середня	середня
18	середня	велика	велика	висока
19	велика	мала	мала	середня
20	велика	мала	середня	середня
21	велика	мала	велика	висока
22	велика	середня	мала	середня
23	велика	середня	середня	середня
24	велика	середня	велика	висока
25	велика	велика	мала	висока
26	велика	велика	середня	висока
27	велика	велика	велика	висока

Розглянемо функціонування системи НЛВ із зваженою істинністю для одержання агрегованих значень оцінок експерта D_1 для проекту P_1 . У системі НЛВ для значень критеріальних оцінок з табл. 1 експерта D_1 для проекту P_1 спрацювали правила 2,3,5,6,11,12,14,15. В табл. 3 наведена процедура розрахунку значень істинності передумов та ступеню виконання для правил 2, 12,14.

Значення агрегованих за допомогою системи НЛВ оцінок всіх експертів для всіх проектів наведені в табл. 4.

Тепер для подальшого розв'язку задачі знайдемо остаточну узагальнену оцінку кожного проекту – ступінь його привабливості для розподілу інвестиційних ресурсів. Рівень експертів будемо вважати однаковим, і розрахуємо ступені привабливості як середні значення агрегованих експертних оцінок проектів за (1). Результати наведені в табл. 5.

Таблиця 3. Приклад виконання правил 2, 12,14

№	Критерії оцінювання, входи правила СНЛВ			Вихід правила
	C_1	C_2	C_3	
	$W_{11} = 0,558$	$W_{21} = 0,278$	$W_{31} = 0,164$	
2	 $0,33 * 0,558$	 $0,58 * 0,278$	 $0,83 * 0,164$	 $= 0,4815$
12	 $0,67 * 0,558$	 $0,58 * 0,278$	 $0,17 * 0,164$	 $= 0,56298$
14	 $0,67 * 0,558$	 $0,42 * 0,278$	 $0,83 * 0,164$	 $= 0,62674$

Таблиця 4. Агреговані за допомогою системи НЛВ експертні оцінки проектів

Експерт, D_t	Оцінки проектів P_i, A_{it}^D				
	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5
D_1	0,452	0,484	0,563	0,442	0,539
D_2	0,515	0,467	0,46	0,493	0,476
D_3	0,489	0,532	0,442	0,522	0,552
D_4	0,486	0,491	0,431	0,454	0,554

Таблиця 5. Остаточні оцінки проектів

Ступінь привабливості проекту, A_i	Оцінки проектів, P_i				
	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5
Розраховане значення	0,4855	0,4935	0,474	0,47775	0,53025
Нормоване значення	0,197	0,201	0,193	0,194	0,215

Таблиця 6. Значення обсягів інвестування проектів

	Проекти P_i				
	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5
Обсяг інвестування проекту, тис. грн	9,85	10,05	9,65	9,7	10,75

Відповідно до знайдених нормованих значень ступенів привабливості проектів з табл. 5 на пропорційній основі визначимо значення інвестування кожного проекту виходячи з наявного бюджету B , що складає 50 тис. грн (див. табл. 6).

Висновки

Запропонований підхід застосування системи нечіткого логічного виводу із зваженою істинністю забезпечує врахування індивідуальних вагових коефіцієнтів критеріїв оцінювання об'єктів для кожного експерту при застосуванні експертним комітетом єдиної бази правил СНЛВ. Знімає необхідність побудови і використання індивідуальних баз правил для кожного експерту при застосуванні СНЛВ для розв'язання задач із залученням комітету експертів.

Подальший розвиток доцільно проводити у напрямі розробки підходів до спрощення і автоматизації процесу побудови бази правил системи НЛВ як експертним способом, так і з наявних статистичних даних систем, об'єктів, процесів та явищ, що досліджуються.

1. Zadeh L.A. Fuzzy Sets // Information and Control. 8(1965), p. 338–353.
2. Орлов А.И. Математические заметки, 1981. – Т. 30, № 4. – С. 561–568.
3. Коршевнюк Л.А., Бидюк П.И. Решение задачи распределения инвестиций на основе нечеткого логического вывода // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2003. – № 2. – с. 34–42.
4. Коршевнюк Л.А., Бидюк П.И. Решение задачи распределения инвестиций между альтернативными проектами // Зб. наук. пр. Ін-ту проблем моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова. – К., 2002. – Вип. 17. – С. 26–33.
5. Mamdani E.H. Applications of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic synthesis // IEEE Transactions on Computers. – 1977. – vol. 26, N 12. – P. 1182–1191.
6. Коршевнюк Л.О., Мінін М.Ю., Бидюк П.И. Підхід групового застосування системи нечіткого логічного виводу // Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем: Тези доп. учасників II Міжнар. наук.-практ. конф. – Дніпропетровськ: ДНУ, 2004. – С. 66–67.
7. Коршевнюк Л.О., Мінін М.Ю. Система нечіткого логічного виводу із зваженою істинністю // Единое информационное пространство '2004: Сб. докл. II-й Междунар. науч.-практ. конф. –

Днепропетровск: ИПК ИнКомЦентра УГХТУ, 2004. – С. 114–117.

8. Sugeno M. An introductory survey of fuzzy control // Information Sci., N 36. – 1985. – P. 59–83.

Получено 03.10.2008

Про авторів:

Теленик Сергій Федорович,
доктор технічних наук, завідувач кафедри АУТС факультету інформатики та обчислювальної техніки НТУ України «КПІ»,

Бідюк Петро Іванович,
доктор технічних наук, професор, професор кафедри математичних методів системного аналізу Інституту прикладного системного аналізу НТУ України «КПІ»,

Коршевніюк Лев Олександрович,
кандидат технічних наук, м.н.с. кафедри математичних методів системного аналізу Інституту прикладного системного аналізу НТУ України «КПІ»,

Хмелюк Володимир Сергійович,
аспірант, асистент кафедри АУТС факультету інформатики та обчислювальної техніки НТУ України «КПІ».

Місце роботи авторів:

Національний технічний університет України «КПІ».

Тел.: 241 7039, 241 8659,
241 6893, 454 9933.

E-mail: hmelyuk@bigmir.net,
telenik@acts.ntu-kpi.kiev.ua.