

УДК 62-50

Коршевнюк Л.О., Бідюк П.І.

Застосування нечіткого логічного виводу із зваженою істинністю експертними комітетами

Розглядається застосування систем нечіткого логічного виводу до розв'язання багатокритеріальних задач прийняття рішень із застосуванням комітетів експертів. Запропоновано використання для комітету експертів одної бази правил системи нечіткого логічного виводу із зваженою істинністю, що забезпечує врахування індивідуальних значень вагових коефіцієнтів критеріїв оцінювання об'єктів для кожної ОПР, знімає необхідність побудови і використання персональних баз правил для кожної ОПР і робить системи НЛВ практично застосовним засобом в реальних задачах прийняття рішень.

The usage of fuzzy inference systems in decision making problems with engaging of expert committees is considered. The method proposed is based on using of one rule base in weighted validity FIS. The approach proposed allows to take into consideration the individual weighting coefficients of estimation criteria for each decision-maker. Also the approach removes the necessity of creating and using of personal rule bases for each decision-maker and makes FIS as a practical usable tool to solve real decision making problems.

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

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

Актуальними практичними задачами прийняття рішень постають різноманітні 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 таким 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 таким чином. Для об'єктів $\mathbf{O} = \{O_i\}$ 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 відрізнятись 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 є врахування 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].

В 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 загальні цілі [3, 4].

Для знаходження узагальнених агрегованих оцінок об'єктів з урахуванням невизначеностей, які, як вже зазначалось, дуже характерні для такого класу задач, зручним є застосування системи нечіткого логічного висновку (НЛВ) [4, 5].

Система НЛВ (СНЛВ) для одержання узагальнених оцінок об'єктів має h входів (кількість критеріїв оцінювання), та один вихід – власне узагальнена оцінка об'єкта. Система НЛВ 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 СНЛВ 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 – ступеня привабливості A_i , де $i = \overline{1, n}$. Загальнопоширенім 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 нечіткого логічного висновку – 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 СНЛВ 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 нечіткого логічного виводу зумовлює врахування важливості критеріїв у самих правилах, тобто причинно-наслідкові зв'язки між входами та виходом, які сформульовані в тому чи іншому правилах, за своїм змістом та суттю визначають залежність величини виходу від входних значень та взаємного відносного рівня важливості входних значень. Тому для урахування 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 унеможливило використання систем НЛВ та їх переваг.

Необхідно розробити підхід до застосування системи нечіткого логічного висновку, 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 нечіткого логічного висновку із зваженою істинністю* [7].

Система НЛВ. Розглянемо основні засади систем НЛВ. Нечіткий логічний висновок визначає відображення вектора входних даних в 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 входних значень x_c , $c = \overline{1, h}$ до нечітких множин входу – лінгвістичних змінних з відповідної лінгвістичної шкали

$T_{x_c} = \{T_{x_c}^1, T_{x_c}^2, \dots, T_{x_c}^{m_{xc}}\}$, де m_{xc} – кількість лінгвістичних змінних у шкалі для c -того входу, яка, як правило, є рівною для всіх входів. Необхідність у введенні процедури фазифікації зумовлена використанням у системі НЛВ лінгвістичних правил; вона здійснюється задля визначення ступеня істинності кожної передумови кожного правила.

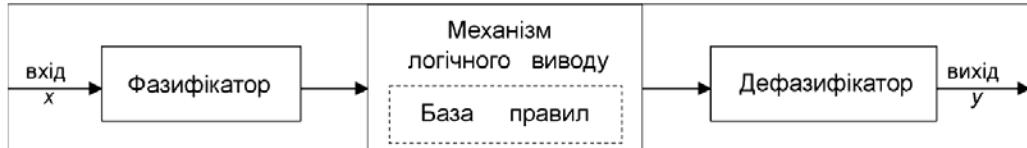


Рис. 1. Загальна схема системи нечіткого логічного висновку

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 таким формат [3, 5]:

$$\begin{aligned} Rule_j = & " \text{якщо } x_1 \in T_{x_1}^{any} \text{ і } x_2 \in T_{x_2}^{any} \dots \\ & \dots \text{ і } x_h \in T_{x_h}^{any}, \text{ то } y^j \in T_y^{any}" \end{aligned} \quad (2)$$

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 *нечітку множину висновку* \tilde{y} . Далі дефазифікатор відображає нечітку множину виводу \tilde{y} у чітке число \bar{y} , яке і буде результатом СНЛВ 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]: центройдний, методи максимуму, метод центру максимумів, висотна дефазифікація.

Процес нечіткого логічного висновку у системі НЛВ за Мамдані [3,5] виглядає наступним чином. 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 ступеня виконання α_j , $j = \overline{1, r}$ розраховується результат його виконання – вихідна нечітка множина з усіченою функцією належності $\hat{\mu}^j(y)$. Визначення усіченої функції належності, тобто операція імплікації, також відбувається за допомогою оператора мінімуму:

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

Нечіткий логічний вивід Мамдані для СНЛВ з двома входами та двома виконаними правилами графічно проілюстровано на рис. 2.

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

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

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 \bar{y} , функція належності якої має такий вигляд:

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

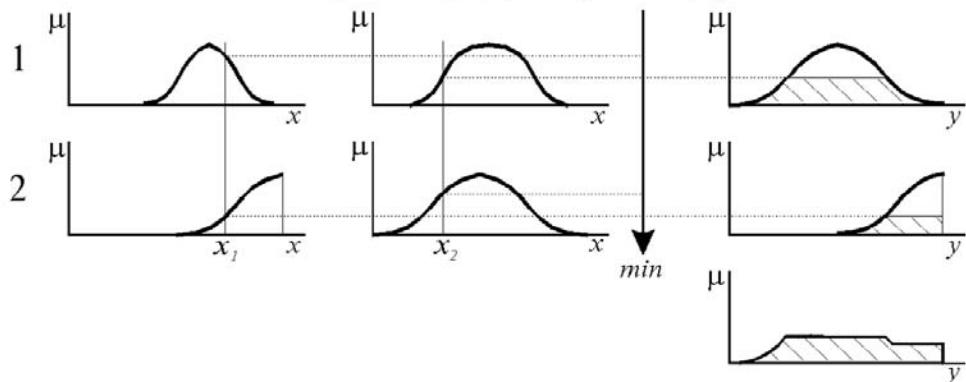


Рис. 2. Ілюстрація нечіткого логічного виводу Мамдані

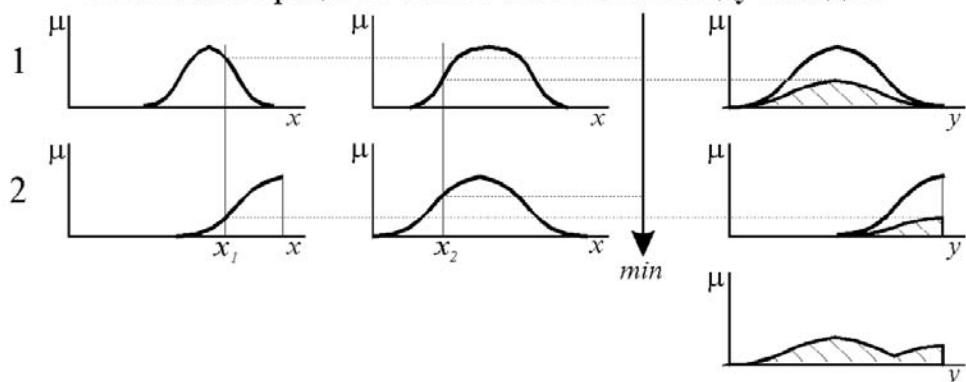


Рис. 3. Ілюстрація нечіткого логічного висновку Арсена

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. 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 :

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

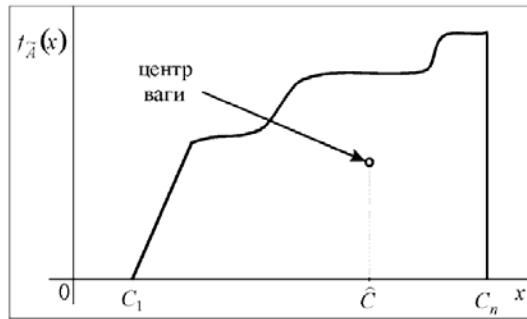


Рис.4 Дефазифікація центроїдним методом

В системі нечіткого логічного виводу Сугено база правил Rules = {Rule_j}, $j = \overline{1, r}$ складається з правил, у яких виходом є чітке значення, що визначається лінійною функцією:

$$\begin{aligned} Rule_j = & " \text{якщо } x_1 \in T_{x_1}^{any} \text{ і } x_2 \in T_{x_2}^{any} \dots \\ & \dots \text{ і } x_n \in T_{x_n}^{any}, \text{ то } \bar{y}^j = \sum_{i=1}^n a_i^j x_i + c^j " \end{aligned}$$

де a_i^j ($i = \overline{1, n}$), c^j – константи [8]. Остаточний результат логічного висновку \bar{y} розраховується як зважене середнє чітких результатів \bar{y}^j виконаних правил, в якому ваговими коефіцієнтами виступають ступені виконання правил α_j .

Система НЛВ із зваженою істинністю. Опорна база правил у запропонованій системі НЛВ, що є єдиною для всього комітету, створюється консолідованим 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 СНЛВ 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 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 СНЛВ для експерта D_t буде визначатись наступним чином:

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

Для експертних оцінок об'єктів відповідно:

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

Однак у такому випадку значення оцінки за менш важливим критерієм, якому відповідає менше значення вагового коефіцієнта, буде спричинити значний вплив на значення ступеня виконання α_j всього правила, тому що у процедурах композиції (3) та імплікації (4) відповідно до логічного "І" 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 $(1 - W_{ct})$ в якості корегувальних множників теж не забезпечує коректного відображення вагових співвідношень між значеннями оцінок за критеріями у розрахунку ступенів виконання правил. В 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 виводу при використанні єдиної бази правил пропонується для визначення ступеня 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 ступеня істинності $\mu_c^j(x_c)$ кожної передумови правила більше нуля. Запропонована СНЛВ 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 СНЛВ для експерта D_j буде визначатись таким чином:

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

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

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

Необхідно зазначити, що запропонована система нечіткого логічного висновку із зваженою істинністю не є існуючою зваженою системою НЛВ. Ідея зваженої СНЛВ 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 $P = \{P_i\}$, $i = \overline{1,5}$, та загальне бюджетне обмеження B , яке складає 50 тис. грн. Експертний комітет складається з чотирьох експертів $D = \{D_t\}$, $t = \overline{1,4}$. 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 $C = \{C_c\}$, $c = \overline{1,3}$: C_1 – прибутковість, C_2 – рівень виконавців проекту та C_3 – соціальна важливість проекту. Експерти $D = \{D_t\}$ для критеріїв оцінювання $C = \{C_c\}$ 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 СНЛВ 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 проілюстровані на рис. 5. Лінгвістична змінна виходу СНЛВ також має три градації: *низька*, *середня*, *висока* (ступінь привабливості), наведена на рис. 6. Для відповідних нечітких множин входу та виходу застосовуються трикутні функції належності. База правил СНЛВ наведена в табл. 2. Ступінь виконання кожного правила визначається за (9), а процедура іmplікації –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

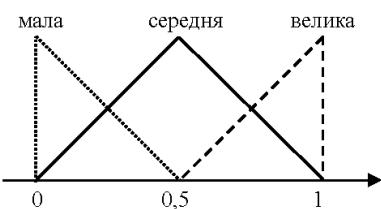


Рис. 5. Лінгвістична змінна входу СНЛВ.

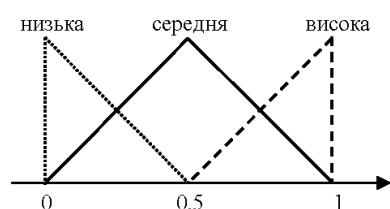


Рис. 6. Лінгвістична змінна виходу СНЛВ.

Розглянемо функціонування СНЛВ із зваженою істинністю для одержання агрегованих значень оцінок експерта D_1 для проекту P_1 . У СНЛВ 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 проілюстрована процедура розрахунку значень істинності передумов та ступеня виконання для правил 2, 12, 14.

Значення агрегованих за допомогою СНЛВ 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 2

База правил прикладу

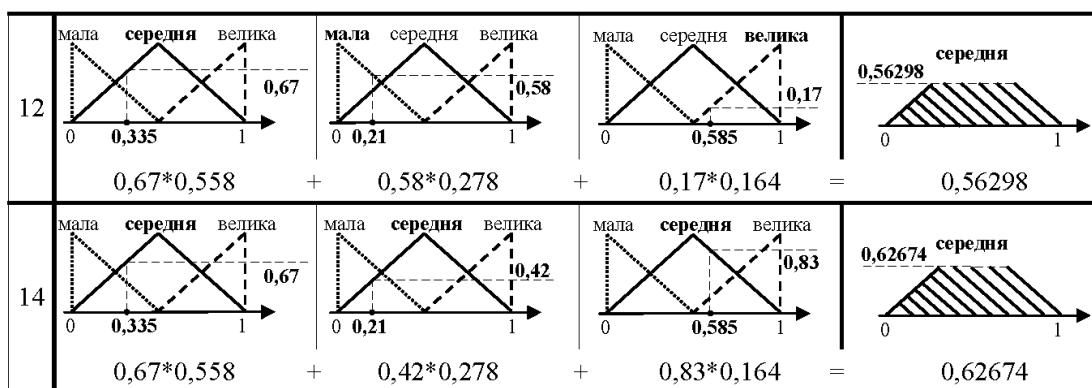
№ з/п	Правила нечіткого логічного висновку			Вихідне значення	
	Вхідні значення				
	прибутковіс- ть	рівень виконавців	соціальна важливість		
1	мала	мала	мала	низька	
2	мала	мала	середня	низька	
3	мала	мала	велика	середня	
4	мала	середня	мала	низька	
5	мала	середня	середня	середня	
6	мала	середня	велика	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	

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

Таблиця 3

Приклад виконання правил 2, 12, 14

№	Критерій 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	 $0,33 * 0,558$	 $0,58 * 0,278$	 $0,83 * 0,164$	 $= 0,4815$



Таблиця 4
Агреговані за допомогою СНЛВ 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

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

	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

Висновки. Запропонований підхід застосування системи нечіткого логічного выводу із зваженою істинністю забезпечує врахування індивідуальних вагових коефіцієнтів критеріїв оцінювання об'єктів для кожного експерта при застосуванні експертним комітетом єдиної бази правил СНЛВ. Знімає необхідність побудови і використання індивідуальних баз правил для кожного експерта 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.

Література

1. Zadeh L.A. Fuzzy Sets // *Information and Control*. 8(1965), pp.338-353.
2. Орлов А.И. / Математические заметки.М.; 1981. Т. 30. – №4. с. 561-568.
3. Коршевнок 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. Коршевнок Л.А., Бидюк П.И. Решение задачи распределения инвестиций между альтернативными проектами // Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є.Пухова. – Випуск 17. – Київ, 2002. – с. 26-33.
5. Mamdani E.H. Applications of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic synthesis // *IEEE Transactions on Computers*, 1977, v. 26, No. 12, pp. 1182-1191.
6. Коршевнок Л.О., Мінін М.Ю., Бідюк П.І. Підхід групового застосування системи нечіткого логічного висновку // Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем: Тези доповідей учасників II міжнародної науково-практичної конференції. – Дніпропетровськ: ДНУ, 2004. – с. 66-67.
7. Коршевнок Л.О., Мінін М.Ю. Система нечіткого логічного висновку із зваженою істинністю // Единое информационное пространство '2004: Сборник докладов II Международной научно-практической конференции. – Днепропетровск: ИПК ИнКомЦентра УГХТУ, 2004. – с. 114-117.
8. Sugeno M. An introductory survey of fuzzy control // *Information Sciences*, No 36, 1985. – p. 59 - 83.