

## **УПРАВЛІННЯ НАЦІОНАЛЬНИМ ГОСПОДАРСТВОМ**

УДК 330.341

**С. Й. Воробець, О. Ю. Лесюк**  
Національний університет “Львівська політехніка”

### **ОЦІНЮВАННЯ РІВНЯ РОЗВИТКУ КРАЇН ЄВРОПИ В КОНТЕКСТІ МОДЕЛІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МЕТОДІВ ТЕОРІЇ НЕЧІТКИХ МНОЖИН**

<http://doi.org/10.23939/smeu2019.02.103>

© Воробець С. Й., Лесюк О. Ю., 2019

Розглянуто методико-прикладні інструменти, які ґрунтуються на використанні теорії нечітких множин, для оцінювання досягнення цілей у контексті реалізації моделі сталого розвитку. Побудовано систему кластерів, які визначають нинішній рівень розвитку європейських країн, у системі визначеної множини довгострокових цілей. Проведено їх рейтингове оцінювання на основі розрахованої для кожної з них інтегральної оцінки. Подано модель впливу окремих індикаторів на темпи приросту валового внутрішнього продукту, яку запропоновано використовувати під час розгляду окремих сценаріїв стратегічного розвитку України.

**Ключові слова:** модель сталого розвитку; індикатори; нечіткі множини; функція належності; лінгвістична змінна; база знань; метод нечітких *k*-середніх; методи нечіткого логічного виводу; нейромережі.

#### **Постановка проблеми та її актуальність**

В 2015 р. Організація Об'єднаних Націй (ООН) визначила нові цілі сталого розвитку світової спільноти. Ця концепція об'єднує різні, але взаємопов'язані області людського розвитку, починаючи від захисту навколишнього середовища, впливу на нього сталих темпів економічного росту, до ключових тенденцій соціальної інтеграції. Її реалізація відіграє все важливішу роль у контексті визначення ключових напрямів державної політики як на національному, так і на глобальному рівні. Це потребує інтенсивних наукових досліджень у плані побудови ефективних моделей стратегічного розвитку й окремих національних держав, і всієї світової спільноти у контексті визначених стратегічних цілей. Для окремої країни такі моделі можна використовувати як інструмент для розроблення планів стратегічного розвитку.

#### **Виклад основного матеріалу**

Дослідження проведено на основі даних, наданих ООН та іншими міжнародними організаціями стосовно системи індикаторів, які визначили ці організації для моніторингу виконання стратегії досягнення цілей сталого світового розвитку. Систему моніторингу реалізації стратегії сталого розвитку світу визначено як ієрархічну систему показників. Її можна формально подати у вигляді взаємозв'язаної системи цілей, завдань і відповідної множини індикаторів (рис. 1).



Рис. 1. Цілі сталого розвитку України до 2030 р.

(джерело: офіційний сайт “Цілі сталого розвитку в Україні”. Представництво ООН в Україні)

Для дослідження вибрано 47 країн Європи. Джерелом вхідної інформації став репозитарій ООН. Детальне опрацювання даних з цього джерела інформації на початковому етапі дослідження дало змогу виділити 150 вхідних індикаторів, кожен з яких обов’язково належить до однієї із 17 цілей моделі сталого розвитку країн [1, 9, 10, 11].

Теоретичною базою дослідження вибрано методи теорії нечітких множин, а саме методи нечіткої кластеризації на основі базового алгоритму нечітких с-середніх, методи нечіткого логічного виводу Мамдані й Сугено, інструментом реалізації цих методів – спеціалізоване програмне забезпечення MatLab [2, 3].

Згідно з метою дослідження вибрано систему цілей, їх підцілей і визначено для них множину індикаторів. На наш погляд, це пріоритетні цілі, які зумовлюють динаміку економічного розвитку країн (рис. 2).

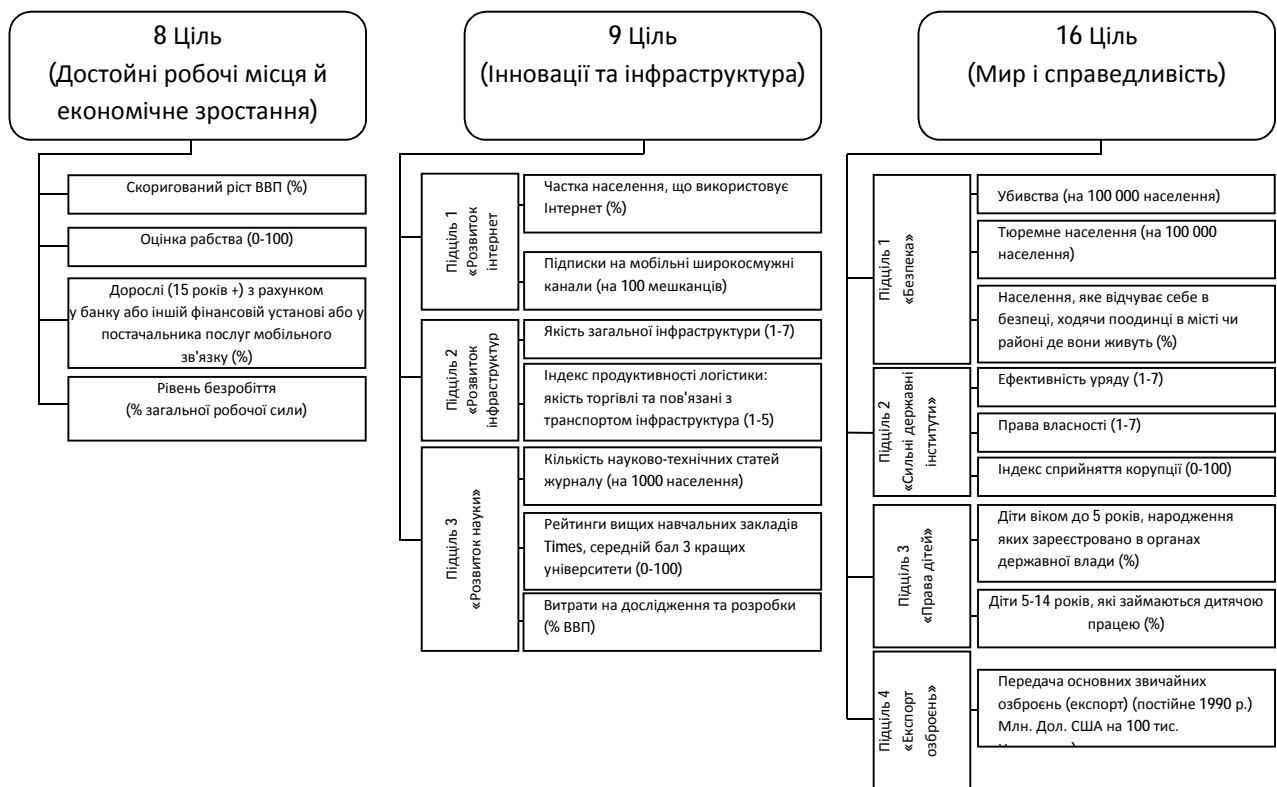


Рис. 2. Вибір цілей та індикаторів сталого розвитку для дослідження

Для ідентифікації поточного рівня України щодо реалізації цілей моделі сталого розвитку вибрано сучасні методики і технології, які ґрунтуються на теорії нечітких множин. Використання таких методик пояснюється тим, що властивості складних соціально-економічних систем великою мірою неоднозначні, а отже, нечіткі. Нечіткість – це така властивість об’єктів або явищ, коли не виконується відношення еквівалентності: об’єкт одночасно може певною мірою належати множині або не належати їй. Невизначеність такого типу описується за допомогою функції належності; значення цієї функції виражає ступінь упевненості, з якою ми зараховуємо аналізований об’єкт до зазначеної множини. Сама множина не обумовлена однозначно і називається нечіткою множиною [4–7].

Нечіткою множиною  $\tilde{A}$  на універсальній множині  $U$  називається сукупність пар  $(\mu_A(u), u)$ , де  $\mu_A(u)$  – ступінь приналежності елемента  $u \in U$  нечіткій множині  $\tilde{A}$ . Ступінь приналежності – це число із діапазону  $[0, 1]$ . Що вищий ступінь приналежності, то більшою мірою елемент універсальної множини відповідає властивостям нечіткої множини.

Функцією належності називається функція, яка дає змогу для довільного елемента універсальної множини обчислити ступінь його приналежності нечіткій множині. Якщо універсальна множина скінченна  $U = \{u_1, u_2, \dots, u_k\}$ , тоді нечітка множина  $\tilde{A}$  записується так:

$$\tilde{A} = \sum_{i=1}^k \mu_A(u_i)/u_i \text{ або } \tilde{A} = (\mu_A(u_1)/u_1, \mu_A(u_2)/u_2, \dots, \mu_A(u_k)/u_k). \quad (1)$$

Через функції належності описуються лінгвістичні терми (“низький”, “середній”, “високий” тощо). Завдання побудови функцій належності формулюють так. Дано дві множини: множина термів  $L = \{l_1, l_2, \dots, l_m\}$  й універсальна множина  $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ . Нечітка множина  $\tilde{l}$  для задання лінгвістичного терма  $l_j$  на універсальній множині  $U$  подається у вигляді:

$$\left( \frac{\mu_{l_j}(u_1)}{u_1}, \frac{\mu_{l_j}(u_2)}{u_2}, \dots, \frac{\mu_{l_j}(u_n)}{u_n} \right), j = \overline{1, m}. \quad (2)$$

Необхідно визначити ступені належності елементів множини  $U$  до елементів з множини  $L$ , тобто знайти  $\mu_{l_j}(u_i)$  для всіх  $j = \overline{1, m}$  та  $i = \overline{1, n}$ .

Лінгвістичною змінною називається змінна, яка набуває значення із множини слів або словосполучень деякої природної мови. Поняття лінгвістичної змінної відіграє важливу роль у нечіткому логічному виведенні й у прийнятті рішень на основі наближених міркувань. Формально лінгвістична змінна описується такою п’ятіркою:

$$\langle x, T, U, G, M \rangle, \quad (3)$$

де  $x$  – ім’я змінної;  $T$  – терм-множина, кожен елемент якої задається нечіткою множиною на універсальній множині  $U$ ;  $G$  – синтаксичні правила (часто у вигляді граматики), які породжують назву термів;  $M$  – семантичні правила, які задають функції приналежності нечітких термів, породжених синтаксичними правилами з  $G$ .

Із використанням моделі, основаної на нечітких множинах, будують систему кластерів для вибраних ключових цілей, які характеризують рівень розвитку України. А саме: Ціль 8 (Достойні робочі місця й економічне зростання); Ціль 9 (Інновації та інфраструктура); Ціль 16 (Мир і справедливість)

Систему кластерів побудовано на основі алгоритму нечітких  $c$ -середніх. Головна суть алгоритму нечітких  $c$ -середніх зводиться до того, що у результаті нечіткі кластери подають такою матрицею нечіткого розбиття [3]:

$$F = [\mu_{ki}], \quad \mu_{ki} \in [0, 1], \quad k = \overline{1, M}, \quad i = \overline{1, c}, \quad (4)$$

в якій  $k$ -й рядок містить ступені належності об’єкта  $X = (x_{k1}, x_{k2}, \dots, x_{kn})$  до кластерів  $A_1, A_2, \dots, A_c$ . За нечіткого розбиття ступінь належності об’єкта до кластера набуває значення із інтервалу  $[0, 1]$ , а умови для матриці нечіткого розбиття записують так:

$$\sum_{i=\overline{1, c}} \mu_{ki} = 1, \quad k = \overline{1, M}; \quad (5)$$

$$0 < \sum_{k=\overline{1, M}} \mu_{ki} < M, \quad i = \overline{1, c}. \quad (6)$$

Для цілі 8 побудовано систему кластерів досліджуваних країн, подану на рис. 3. Центри кластерів відображено у табл. 1.

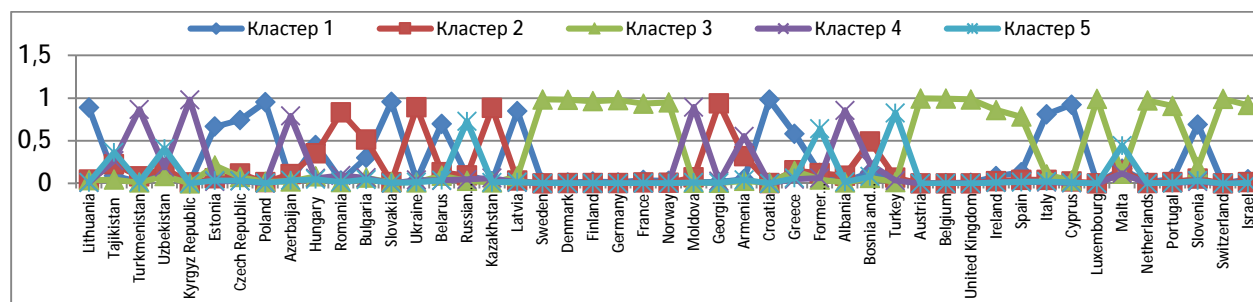


Рис. 3. Кластери країн за ціллю 8

Таблиця 1

**Центри кластерів (координати щодо індикаторів)  
за показниками цілі 8 (Достойні робочі місця й економічне зростання)**

Центри кластерів (координати щодо індикаторів) <b>SDG8</b>	Скоригований ріст ВВП, %	Оцінка рабства (0–100)	Дорослі (15 років +) з рахунком у банку або іншій фінансовій установі або у постачальника послуг мобільного зв'язку, %	Рівень безробіття, % загальної робочої сили
№ кластеру	1	2	3	4
1	-1,12	79,51	87,19	7,44
2	-1,24	78,40	61,38	8,90
3	-0,58	99,62	97,36	5,94
4	-1,46	78,53	40,46	8,12
5	-0,50	41,91	70,80	10,76

Як видно з рис. 3, Україна входить до кластера № 2, і найближча за показниками цілі 8 до Румунії, Казахстану, Грузії та Болгарії. Водночас найрозвиненіші країни Європи, а саме: Швеція, Данія, Німеччина, Бельгія, Норвегія, Велика Британія тощо – утворюють кластер № 3. Оцінити різницю у показниках різних кластерів, а також визначити напрям розвитку країни за кожним показником задля досягнення бажаного рівня розвитку можна з табл. 1. У країнах кластера № 2, до якого належить Україна, спостерігається нижчий скоригований ріст ВВП, ніж у кластері № 3, в який входять найрозвиненіші країни Європи (-1,24 % проти -0,58 %). Також у них нижчий рівень рабства, значно більша кількість населення користується банківськими послугами (на 35,98 %-п) і значно нижчий рівень безробіття (на 2,96 %-п).

Кластеризацію країн за індикаторами цілі 9 зображено на рис. 4. Центри кластерів відображено у табл. 2.

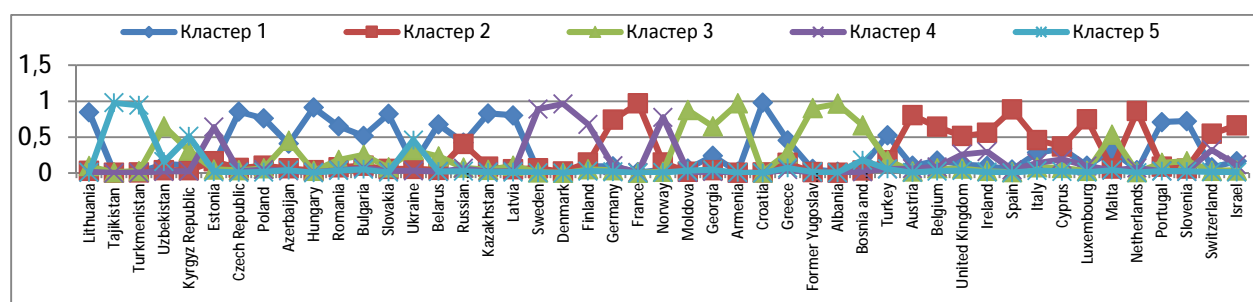


Рис 4. Кластери країн за ціллю 9

Таблиця 2

**Центри кластерів (за індикаторами цілі 9 (інновації та інфраструктура))**

№ кластер	Частка населення, що використовує Інтернет, %	Підписки на мобільні широкошумові канали (на 100 мешканців)	Якість загальної інфраструктури за міжнародними стандартами	Індекс продуктивності логістики: якість торгівлі та пов'язана з транспортом інфраструктура	Рейтинги вищих навчальних закладів Times, середній бал трьох кращих університетів (0–100)	Кількість науково-технічних статей журналу (на 1000 населення)	Витрати на дослідження та розробки, % ВВП
1	73,51	74,44	4,24	2,93	27,01	0,80	1,06
2	85,35	86,02	5,51	3,95	59,19	1,36	2,15
3	65,29	55,00	3,68	2,29	3,68	0,21	0,37
4	91,74	121,56	5,58	3,88	56,16	1,94	2,58
5	25,25	21,19	2,41	2,22	1,65	0,03	0,12

З рис. 4 можна зробити висновок, що Україна найбільш відповідає розвитку країн з кластера № 5, і найближча за показниками цілі 9 до Киргизстану, Узбекистану, Туркменистану і Таджикистану. А найрозвиненіші країни Європи утворюють кластер № 4. З табл. 2 можна зробити висновок, що країни кластера № 5, до якого належить Україна, значно відстають за всіма показниками розвитку інтернет-технологій, інфраструктури та науки.

Загальну кластеризацію цілі 16 зображено на рис. 5. Центри кластерів відображено у табл. 3.

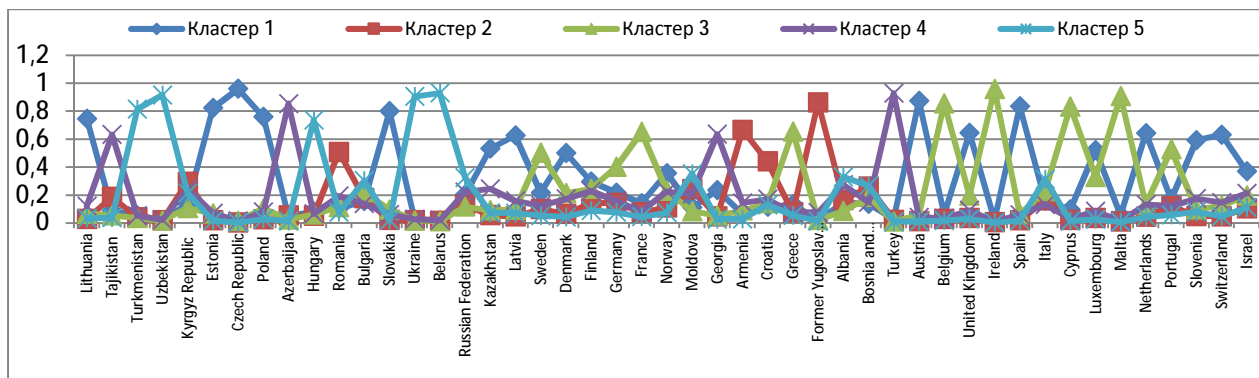


Рис 5. Кластери країн за ціллю 16

Таблиця 3

**Центри кластерів (координати щодо індикаторів) за показниками цілі 16 (Мир і справедливість)**

№ кластеру	SDG161	SDG 162	SDG 163	SDG 164
1	2	3	4	5
1	18,21	16,66	18,53	2,73
2	21,46	14,19	10,03	1,89
3	23,27	17,08	18,41	2,69
4	17,15	15,96	13,65	2,08
5	17,19	6,75	17,44	2,58

З рис. 5 можна зробити висновок, що Україна схожа за рівнем розвитку на країни з кластера № 5 і найближча за показниками цілі 16 до Узбекистану, Туркменистану, Угорщини та Білорусі. А найрозвиненіші країни Європи утворюють кластери № 1 та № 3. З табл. 3 можна зробити висновок,

що країни кластера № 5, до якого входить Україна, істотно відстають за всіма показниками розвитку безпеки, сильних інститутів, прав дітей та експорту озброєнь.

Порівняння досягнутого рівня кожної із досліджуваних у контексті моделі сталого розвитку здійснено через визначення їх інтегральної оцінки за значеннями вхідних індикаторів згідно із визначеними підцілями і цілями. Таку інтегральну оцінку реалізовано із застосуванням системи нечіткого логічного виведення. Нечітке логічне виведення слід розуміти як апроксимацію залежності <вхід – вихід> на основі попередньо визначених, по-перше, системи лінгвістичних висловлювань, а по-друге – логічних операцій над нечіткими множинами [2]. Елементами такої системи є:

• фазифікатор, який представляє вектор значень вхідних факторів ( $X$ ) у вектор нечітких множин  $\tilde{X}$ , які надалі беруть безпосередню участь у нечіткому вивченні;

• нечітка база знань, яка формалізує залежність  $Y = f(X)$  і подається як система лінгвістичних правил <якщо – то>;

• функції належності, відображають лінгвістичні терми у вигляді нечітких множин;

• машина нечіткого логічного виведення на основі системи правил бази знань визначає значення вихідної змінної у вигляді нечіткої множини  $\tilde{Y}$ , відповідної нечітким значенням вхідних змінних ( $\tilde{X}$ );

• дефазифікатор перетворює вихідну нечітку множину  $\tilde{Y}$  на чітке число  $Y$ .

У нашому дослідженні для визначення індивідуальних значень інтегральних оцінок кожної із досліджуваних країн використано алгоритм нечіткого виведення Мамдані [7]. Нечітке виведення Мамдані реалізується на базі знань, правила якої формалізуються так:

$$(x_1 = \tilde{a}_{1j} \theta_j \ x_2 = \tilde{a}_{2j} \theta_j \dots \theta_j \ x_n = \tilde{a}_{nj} \text{ з вагою } w_j) \Rightarrow y = d_j, \quad j = \overline{1, m}, \quad (7)$$

де  $x_1, \dots, x_n$  – значення вхідних індикаторів у системі досліджуваної цілі сталого розвитку;  $y$  – її інтегральна оцінка;  $\tilde{a}_{ij}$  – нечіткий терм, яким оцінюється  $i$ -й індикатор в  $j$ -му правилі бази знань;  $\theta_j$  – логічна операція, яка зв'язує окремі частини антецедента в  $j$ -му правилі. В нашому випадку використано тільки логічну операцію AND. Результат нечіткого виведення, отриманий за алгоритмом Мамдані, подається як множина нечітких термів  $\{\tilde{d}_1, \tilde{d}_2, \dots, \tilde{d}_m\}$

$$\tilde{y}^* = \left( \frac{\mu_1(X^*)}{\tilde{d}_1}, \frac{\mu_2(X^*)}{\tilde{d}_2}, \dots, \frac{\mu_m(X^*)}{\tilde{d}_m} \right). \quad (8)$$

Для відображення одержаної нечіткої множини інтегрального показника  $\tilde{y}^*$  окремої цілі на визначеній для нього універсальній множині значень  $[\underline{y}, \bar{y}]$  послідовно виконують операції імплікації (*imp*) й агрегування (*agg*). Нечітке значення вихідної змінної  $y$  як результат логічного висновку за  $j$ -м правилом бази знань подається так:

$$\tilde{d}_j^* = \int_{y_i \in [\underline{y}_i, \bar{y}_i]} \mathbf{imp}(\tilde{d}_j, \mu_j(X^*)), \quad j = \overline{1, m}. \quad (9)$$

Імплікація реалізується операцією мінімуму – “зрізанням” функції приналежності  $\mu_{d_j}(y)$  за рівнем  $\mu_j(X^*)$ .

У всій базі знань інтегральний показник як нечітке значення у системі нечіткого логічного виведення реалізується через операцію агрегування, тобто операцію максимуму.

$$\tilde{y}^* = \mathbf{agg}(\tilde{d}_1^*, \tilde{d}_2^*, \dots, \tilde{d}_m^*). \quad (10)$$

За вищевикладеною нечіткою логікою, реалізованою із використанням алгоритму Мамдані, отримано рейтинг країн через розрахунок їх інтегральних показників за цілями 8 (Достойні робочі місця й економічне зростання), 9 (Інновації та інфраструктура) і 16 (Мир і справедливість). Результати рейтингового оцінювання для кожної із цих цілей зображено на рис. 6–8 відповідно.

Діапазон значень рейтингової оцінки лежить у числовому інтервалі від 0 до 100 для кожної із досліджуваних цілей. З рис. 7 видно, що Україна в рейтингу країн за ціллю 8 “Достойні робочі місця й економічне зростання” займає 38-ме місце з 47 поруч з Португалією та Іспанією. Також варто зазначити, що розмах значень оцінки досліджуваних країн є невеликим, найменше – 41,62, найбільше – 65,04, що свідчить про невелику відмінність між країнами за темпами економічного зростання.

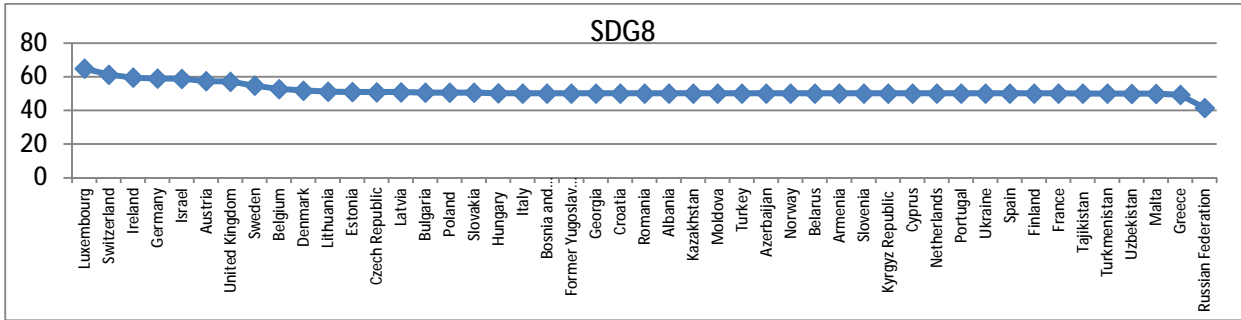


Рис. 6. Рейтинг країн за ціллю 8 (Достойні робочі місця й економічне зростання)

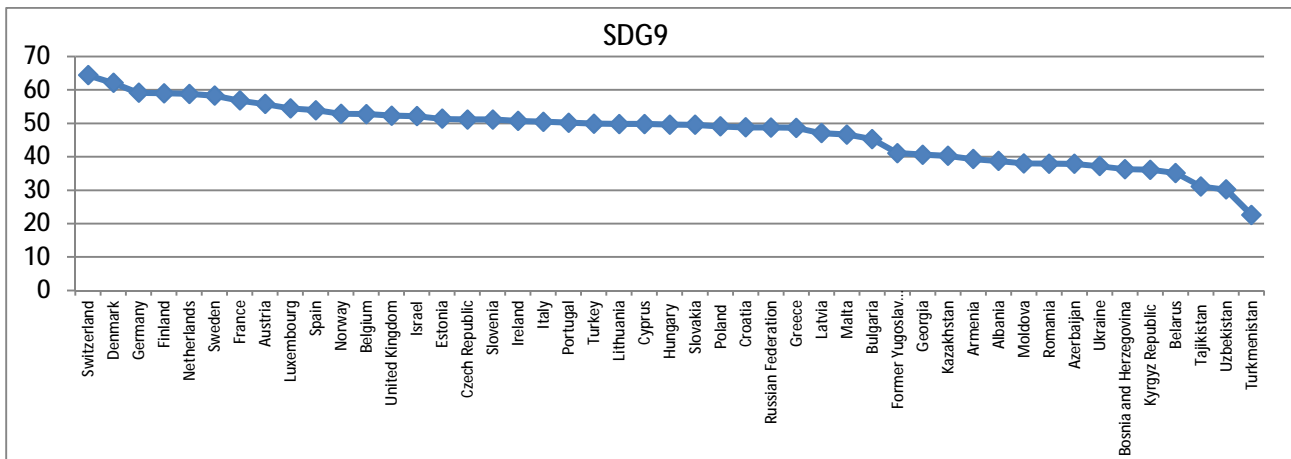


Рис. 7. Рейтинг країн за ціллю 9

У рейтингу за ціллю 9 “Інновації та інфраструктура” Україна займає 41-ше місце з 47 досліджуваних країн, поруч з Азербайджаном і Боснією та Герцеговиною.

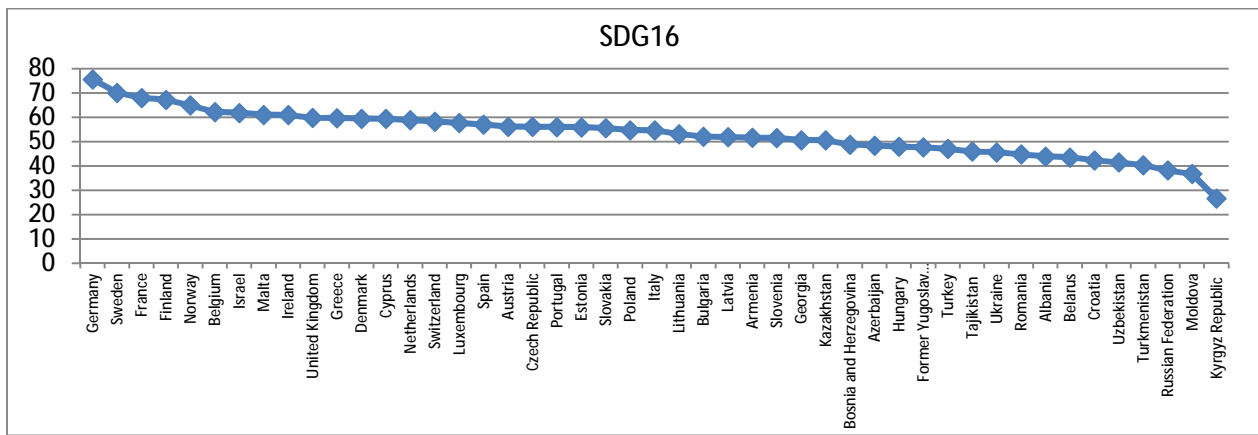


Рис. 8. Рейтинг країн за ціллю 16

У рейтингу за ціллю 16 “Мир і справедливість” Україна займає 38-ме місце з 47 країн поруч із Таджикистаном і Румунією.

Ідентифікувавши відносний рівень України в контексті досягнення визначених цілей сталого розвитку через використання методів нечіткої кластеризації та рейтингового оцінювання, побудуємо модель багатовимірної залежності в межах вибраної нами множини індикаторів, яку назвемо моделлю зв'язків <входи – виходи>. Зокрема як вихід такої моделі визначимо індикатор <Скориговане значення росту ВВП>, який входить у цілю 8. А як входи вибрано підціль

92 – <Розвиток інфраструктури>, підциль 93 <Розвиток науки> і підциль 162 <Сильні державні інститути>. Побудуємо модель залежності зростання ВВП від розвитку інфраструктури, науки й ефективності функціонування владних інституцій. В основу такої моделі покладено модель нечіткого логічного виведення Сугено [6]. Нечітке логічне виведення Сугено виконується за нечіткою базою знань, окреме правило якої можна подати так:

$$(x_1 = \tilde{a}_{1j} \theta_j \ x_2 = \tilde{a}_{2j} \theta_j \dots \theta_j \ x_n = \tilde{a}_{nj}) \Rightarrow b_{j0} + b_{j1}x_1 + b_{j2}x_2 + \dots + b_{jn}x_n \quad j = \overline{1, m}, \quad (11)$$

де  $b_{j0}, b_{j1}, \dots, b_{jn}$  – деякі дійсні числа. Така база знань аналогічна до бази знань Мамдані, розглянутої вище, за винятком висновків правил, які задають лінійною функцією від входів:

$$d_j = b_{j0} + \sum_{i=\overline{1, n}} b_{ji}x_i. \quad (12)$$

Міру належності  $\mu_{d_j}(X^*)$  вхідного вектора  $X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$  до значень  $d_j = b_{j0} + \sum_{i=\overline{1, n}} b_{ji}x_i^*$  розраховують за формулою:

$$\mu_{d_j}(X^*) = \mu_j(x_1^*) \chi_j \mu_j(x_2^*) \chi_j \dots \chi_j \mu_j(x_n^*), \quad j = \overline{1, m}. \quad (13)$$

Отже, модель зв'язку індикатора *рiст ВВП* із підцилями SDG92, SDG93 і SDG162 реалізовано в Fuzzy Logic на програмній платформі MatLab. Реалізація моделі передбачає знаходження множин параметрів ( $P$  і  $B$ ). Множина  $P$  містить параметри функцій належності термів вхідних змінних, а множина  $B$  – коефіцієнти лінійних функцій у висновках правил бази знань [6]. Така параметрична ідентифікація нечіткої бази знань Сугено зводиться до розв'язання задачі математичного програмування – знаходження таких множин  $P$  і  $B$ , які б мінімізували значення функції (14),

$$\sqrt{\frac{1}{M} \sum_{r=\overline{1, M}} (y_r - F(P, B, X_r))^2} \rightarrow \min, \quad (14)$$

де  $y_r$  – фактичні значення приросту ВВП для кожної із досліджуваних країн;  $F(P, B, X_r)$  – теоретичні його значення, розраховані на основі визначених значень параметрів нечіткої бази знань, які входять у множини  $P$  і  $B$ ;  $M$  – кількість досліджуваних країн (у нашому випадку 47).

Оптимальні параметри множин значень  $P$  і  $B$  знайдено з використанням ANFIS-алгоритму, основанийого на навчанні попередньо побудованої у системі нейромережі. Загальний вигляд такої нейромережі та процес її навчання подано на рис. 9, 10.

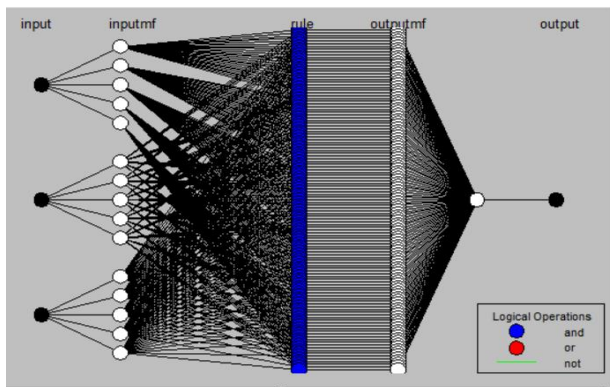


Рис. 9. Загальний вигляд нейромережі для знаходження оптимальних параметрів нечіткої бази знань Сугено

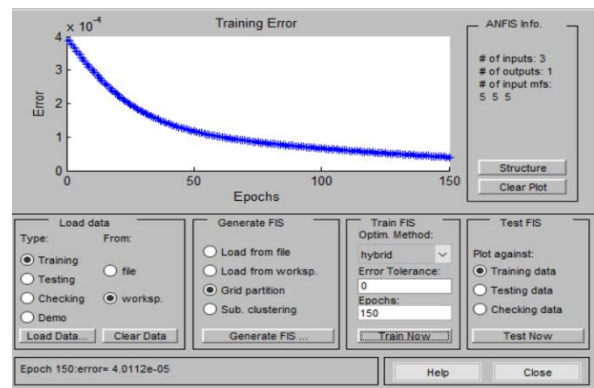


Рис. 10. Процес навчання нейромережі під час відшукування оптимальних параметрів нечіткої бази знань Сугено

Результати оптимізації параметрів нечіткої бази знань Сугено добре демонструє рис. 11, на якому подано функції належності для однієї із вхідних змінних моделі із визначеними оптимальними їх параметрами.



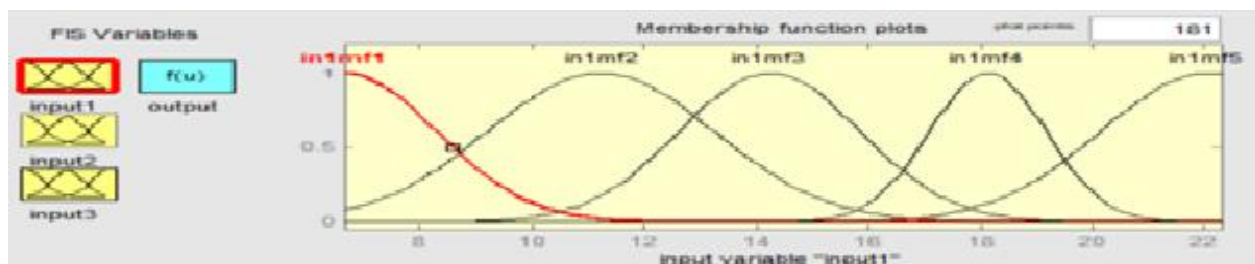


Рис. 11. Функції належності для лінгвістичних значень вхідної змінної моделі SDG92 з визначеними для неї оптимальними параметрами

У межах визначеної моделі розраховано індивідуальні теоретичні значення скоригованого приросту ВВП для кожної із досліджуваних країн, подані в табл. 4.

Таблиця 4

**Фактичні й теоретичні значення вихідної змінної  
(скориговане значення зростання ВВП)**

Назва країни	Скоригований ріст ВВП, %	Теоретичні значення скоригованого росту ВВП	Відхилення фактичного значення від теоретичного	Квадрат відхилення фактичного від теоретичного значення	Назва країни	Скоригований ріст ВВП, %	Теоретичні значення скоригованого росту ВВП	Відхилення фактичного значення від теоретичного	Квадрат відхилення фактичного значення від теоретичного
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Литва	1,400	1,400	0,000	0,000	Молдова	-1,700	-1,700	0,000	0,000
Таджикистан	-1,500	-1,500	0,000	0,000	Грузія	0,600	0,600	0,000	0,000
Туркменистан	3,300	1,322	1,978	3,912	Вірменія	-1,200	0,245	-1,445	2,088
Узбекистан	1,200	1,200	0,000	0,000	Хорватія	-1,800	-1,800	0,000	0,000
Киргизстан	-3,200	-3,200	0,000	0,000	Греція	-3,500	-3,500	0,000	0,000
Естонія	-0,100	0,671	-0,771	0,594	Македонія	0,000	9,687	-9,687	93,837
Чехія	0,000	0,000	0,000	0,000	Албанія	-2,900	-2,900	0,000	0,000
Польща	-0,500	-0,500	0,000	0,000	Боснія і Герцеговина	-1,200	-1,200	0,000	0,000
Азербайджан	-2,900	-2,443	-0,457	0,209	Туреччина	0,800	2,832	-2,032	4,129
Угорщина	-1,000	-1,000	0,000	0,000	Австрія	-0,500	-0,500	0,000	0,000
Румунія	0,500	0,500	0,000	0,000	Бельгія	-0,900	-0,900	0,000	0,000
Болгарія	-0,500	-2,646	2,146	4,606	Велика Британія	-0,300	1,650	-1,950	3,803
Словаччина	-0,600	-0,600	0,000	0,000	Ірландія	6,500	6,500	0,000	0,000
Україна	-5,700	-5,700	0,000	0,000	Іспанія	-1,100	-1,100	0,000	0,000
Білорусь	-3,500	0,327	-3,827	14,649	Італія	-2,300	-1,068	-1,232	1,517
Росія	-3,700	-3,700	0,000	0,000	Кіпр	-3,900	-3,900	0,000	0,000
Казахстан	-0,700	-0,700	0,000	0,000	Люксембург	0,100	0,100	0,000	0,000
Латвія	0,900	1,465	-0,565	0,319	Мальта	2,000	2,272	-0,272	0,074

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Швеція	-0,900	-0,900	0,000	0,000	Нідерланди	-1,200	-1,200	0,000	0,000
Данія	-1,100	-1,100	0,000	0,000	Португалія	-1,200	-1,200	0,000	0,000
Фінляндія	-2,000	-1,301	-0,699	0,488	Словенія	-1,200	-4,427	3,227	10,412
Німеччина	-0,500	-0,500	0,000	0,000	Швейцарія	-0,200	-0,200	0,000	0,000
Франція	-1,400	-1,400	0,000	0,000	Ізраїль	0,300	0,300	0,000	0,000
Норвегія	-3,700	-2,044	-1,656	2,743			Середнє значення помилки=	1,746	

Середнє значення помилки становить 1,74 %, що, на перший погляд, не є прийнятним. Але, якщо проаналізувати індивідуальні значення відхилень для кожної із країн, то тільки у небагатьох з них недопустиме значення помилки. І це такі країни, як Македонія, Білорусь, Болгарія, Туркменістан. Саме ці країни роблять суттєвий внесок у значення помилки, отриманої за розрахунками значень скоригованого валового продукту для досліджуваних країн, на основі побудованої моделі залежності економічного росту, яка ідентифікується через значення ВВП і визначеної множини факторів впливу. Саме такі моделі можна успішно використовувати для розгляду різних сценаріїв стратегічного розвитку країни.

### Висновки

1. Елементи моделі сталого розвитку країн і зв'язки між ними великою мірою неоднозначні. Для їх формалізованого опису необхідний адекватний методико-прикладний інструментарій, яким у дослідженні слугували методи нечітких множин.

2. Для оцінювання соціально-економічного розвитку України вибрано три головні цілі, визначені в моделі сталого розвитку. Саме в межах цих цілей ідентифіковано рівень їх досягнення через попередню кластеризацію і визначення інтегральної оцінки для кожної з досліджуваних країн і побудову рейтингового ряду для них.

3. На прикладі окремої множини індикаторів, які є ключовими для оцінювання рівня соціально-економічного розвитку для країни, побудовано модель їх зв'язку, параметри якої оптимізовано із використанням нейромережових технологій. І таку модель запропоновано використовувати для розгляду різних сценаріїв, оцінюючи стратегію розвитку країни.

### Список літератури

1. ESSNet-Culture European Statistical System Network Culture. Retrieved from [http://ec.europa.eu/assets/eac.culture/library/report/ess-net-report\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/assets/eac.culture/library/report/ess-net-report_en.pdf).
2. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С. Д. Штовба. Москва, 2007.
3. Штовба С. Д. Классификация объектов на основе нечеткого вывода // Exponenta Pro: Математика в приложениях. 2004. № 1 С. 68–69.
4. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений. М.: Мир, 1976. 167 с.
5. Нечіткі множини. 2011. Retrieved from [http://otherreferats.allbest.ru/mathematics/00123125\\_0.html](http://otherreferats.allbest.ru/mathematics/00123125_0.html).
6. Takagi T. & Sugeno M. (1985) Fuzzy Identification of Systems and Its Applications to Modeling and Control. IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics. ,Vol. 15, No. 1, pp. 116–132.
7. Mamdani E. H. & Assilian S. (1975) An Experiment in Linguistic Synthesis with Fuzzy Logic Controller. Int. J. Man–Machine Studies, Vol. 7, No. 1, pp. 1–13.
8. Україна 2030: Доктрина збалансованого розвитку. Вид. друге. Львів: Кальварія, 2017. 164 с.
9. Показники для моніторингу стану досягнення Цілей сталого розвитку: методологія збору та розрахунку даних: аналітичний звіт. Вересень 2017. [Електронний ресурс]. Режим доступу:

<http://www.ua.undp.org/content/ukraine/uk/home/library/sustainable-development-report/Mapping-SDG-indicators-report.html> (in Ukrainian).

10. Цілі сталого розвитку: Україна. Завдання та індикатори. Міністерство економічного розвитку і торгівлі України. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [http://www.un.org.ua/images/documents/3615/%D1%86%D1%96%D0%BB%D1%96\\_web\(2\).pdf](http://www.un.org.ua/images/documents/3615/%D1%86%D1%96%D0%BB%D1%96_web(2).pdf).

11. Carlo Cavicchia, Maurizio Vichi. Model-Based synthesis of indicators. Statistical Composite Indicators to convey consistent policy messages. Department of Statistical Sciences .Sapienza University of Rome. Workshop: 9–10 November 2017 (in Ukrainian).

#### References

1. ESSNet-Culture European Statistical System Network Culture. Retrieved from [http://ec.europa.eu/assets/eac.culture/library/report/ess-net-report\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/assets/eac.culture/library/report/ess-net-report_en.pdf).

2. Shtovba S. D. (2007). Proektuvannya nechitkykh system zasobamy MATLAB [Designing fuzzy systems using MATLAB] (in Russian).

3. Shtovba S. D. (2004). Klassifikatsiya ob'ektov na osnove nechetkogo vyivoda [Classification of objects based on fuzzy inference]. Exponenta Pro: Matematika v prilozeniyah, 1, pp. 68–69 (in Russian).

4. Zade L. (1976). Ponyatie lingvisticheskogo peremennoi i ee primeneniye k prinyatiyu priblizhennykh resheniy [The concept of a linguistic variable and its application to making approximate decisions]. M.: Mir. (in Russian).

5. Nechitki mnozhyny [Fuzzy sets]. (2011). Retrieved from [http://otherreferats.allbest.ru/mathematics/00123125\\_0.html](http://otherreferats.allbest.ru/mathematics/00123125_0.html) (in Ukrainian).

6. Takagi T. & Sugeno M. (1985) Fuzzy Identification of Systems and Its Applications to Modeling and Control. IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics. ,Vol. 15, No. 1, pp. 116–132.

7. Mamdani E. H. & Assilian S. (1975) An Experiment in Linguistic Synthesis with Fuzzy Logic Controller. Int. J. Man–Machine Studies, Vol. 7, No. 1, pp. 1–13.

8. Antoniuk L. & Humenna O. (2017). Ukraina 2030: Doktryna zbalansovanoho rozvytku [Ukraine 2030: The Doctrine of Balanced Development]. Vydannia druhe. Lviv: Kalvariia. (in Ukrainian)

9. Pokaznyky dlia monitorynhu stanu dosiahnennia tsilei staloho rozvytku: metodolohiia zboru ta rozrakhunku danykh. Analitychnyi zvit [Indicators for monitoring the achievement of the Sustainable Development Goals: methodology for data collection and calculation. Analytical Report]. September 2017. Retrieved from <http://www.ua.undp.org/content/ukraine/uk/home/library/sustainable-development-report/Mapping-SDG-indicators-report.html> (in Ukrainian).

10. Tsili staloho rozvytku:Ukraina Zavdannya ta indykatory [Sustainable Development Goals: Ukraine Tasks and Indicators]. Ministerstvo ekonomichnogo rozvytku i torhivli Ukrainy. Retrieved from : [http://www.un.org.ua/images/documents/3615/%D1%86%D1%96%D0%BB%D1%96\\_web\(2\).pdf](http://www.un.org.ua/images/documents/3615/%D1%86%D1%96%D0%BB%D1%96_web(2).pdf).

11. Carlo Cavicchia, Maurizio Vichi. Model-Based synthesis of indicators. Statistical Composite Indicators to convey consistent policy messages. Department of Statistical Sciences .Sapienza University of Rome. Workshop: 9–10 November 2017 (in Ukrainian).

S. Y. Vorobets, O. Y. Lesiuk  
Lviv Polytechnic National University

#### ASSESSMENT OF THE LEVEL OF DEVELOPMENT OF EUROPEAN COUNTRIES IN THE CONTEXT OF THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT MODEL WITH THE APPLICATION OF FUZZY SETS THEORY METHODS

© Vorobets S. Y., Lesiuk O. Y., 2019

**To assess the achievement of goals in the context of implementing a sustainable development model, we are considering the methodical and applied tools based on the use of the theory of fuzzy sets and the technology of implementing the model of communication between its individual indicators, which should be used in developing scenarios of strategic development of Ukraine**

**Topicality.** In 2015, the United Nations (UN) has identified new goals for the sustainable development of the world community. This concept combines different but interrelated areas of human development, from the protection of the environment, the impact on it of sustained economic growth to the key trends of social integration. Its implementation plays an increasingly important role in the context of defining key areas of government policy at both the national and global levels. All this requires intensive research in terms of building effective models of strategic development as separate national states and the entire world community in the context of defined strategic objectives. For a specific country, such models can be used as a tool for developing strategic development plans.

**The aim of the study.** Identify the place of Ukraine among European states on the basis of defined indicators of the implementation of the strategy of sustainable development for goals in the branches such as science, decent work and economic growth, innovation and infrastructure, peace and justice, building a communication model between indicators, which determine the pace of socio-economic development of countries.

**Task.**

– substantiate the choice of methodical and applied tools for solving the main tasks determined by the research topic;

– to allocate the main clusters (groups) of European countries at the current stage of implementation of the model of sustainable development in a certain set of purposes by means of selected methodical and applied research tools;

– to determine an integral indicator for each country within the defined set of goals, build a ranking row based on those goals and estimate the place of Ukraine in it;

– to construct a model of the interconnection of the system of indicators for various purposes, which essentially determine the rates of economic development of the countries and which should be used in the development of scenarios of strategic development of Ukraine.

**Research methods.** The study we conducted is a coherent sequence of steps, each of which involves the use of specific methods for their implementation:

1) the theory of fuzzy sets is chosen as the methodological basis of the study;

2) clustering methods based on the fuzzy s-average algorithm;

3) the rating assessment of achievement of goals in the model of sustainable development is realized using the model of the fuzzy output of Mamdani;

4) construction of the model of the interconnection of the system of indicators, which are decisive in terms of the pace of economic development of countries with the help of a model of fuzzy derivation of Sugeno on the basis of the existing knowledge base in the form of a system of rules whose parameters are found as the result of optimization using neural network technologies.

**Key words:** sustainable development model, composite indicators, cluster analysis, fuzzy sets, membership function, linguistic variable, term set, knowledge base, Mamdani logic inference model, neuro-fuzzy networks, Sugeno inference model.