

ОЦІНЮВАННЯ ВНУТРІШНЬОРЕГІОНАЛЬНОЇ ДИФЕРЕНЦІАЦІЇ НА ЗАСАДАХ НЕЙРО-НЕЧІТКОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Т. І. Єфанова

Магістр з економічної кібернетики,
здобувач кафедри економічної кібернетики

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
проспект Гагаріна, 72, м. Дніпро, 49010, Україна

efanovati@gmail.com

Дана стаття містить результати дослідження у сфері регіонального розвитку, зокрема огляд існуючих принципів і розробку ефективного підходу до аналізу регіонального простору задля покращення соціального та економічного середовища в регіонах. Аналіз результатів проведених експериментів виявив невідповідність традиційних підходів реальним умовам розвитку регіонів. Запропонований підхід, який базується на принципах нейро-нечіткого моделювання та експертних методах, поєднує сценарні розрахунки з урахуванням якісних і кількісних показників, експертних знань у предметній області. Це дозволяє досягти топологічної впорядкованості об'єктів, провести групування та проаналізувати динаміку розвитку районів обраного регіону. Апробація запропонованого методологічного підходу була проведена із застосуванням реальних даних щодо діяльності районів Дніпропетровської області за 2006–2015 рр., яка підтвердила ефективність розробленого математичного інструментарію при виявленні загальних закономірностей у розвитку районів за їх фінансово-соціальними показниками.

Ключові слова: *регіональний розвиток, карти самоорганізації Кохонена, нечітка логіка, експертні методи.*

ОЦЕНИВАНИЕ ВНУТРИРЕГИОНАЛЬНОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ НА ОСНОВЕ НЕЙРО-НЕЧЕТКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Т. И. Ефанова

Магистр по экономической кибернетике,
соискатель кафедры экономической кибернетики

Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара
проспект Гагарина, 72, г. Днепр, 49010, Украина

efanovati@gmail.com

Данная статья содержит результаты исследования в области регионального развития, в частности обзор существующих принципов и разработку эффективного подхода к анализу регионального пространства для улучшения социальной и экономической среды в регионах. Анализ результатов проведенных экспериментов обнаружил несоответствие традиционных подходов реальным условиям развития регионов. Предложенный подход, основанный на принципах нейро-нечеткого моделирования и экспертных методах, сочетает сценарные расчеты с учетом качественных и количественных показателей, экспертных знаний в предметной области. Это позволяет достичь топологической упорядоченности объектов, разделить по группам и проанализировать динамику развития районов выбранного региона. Апробация предложенного методологического подхода была проведена с применением реальных данных о деятельности районов Днепропетровской области за 2006–2015 гг., которая подтвердила эффективность разработанного математического инструментария при выявлении общих закономерностей в развитии районов согласно их финансово-социальных показателей.

Ключевые слова: *региональное развитие, карты самоорганизации Кохонена, нечеткая логика, экспертные методы.*

EVALUATION OF INTRA-REGIONAL DIFFERENTIATION BASED ON NEURO-FUZZY SIMULATION

Tetiana Efanova

Master's Degree in Economic Cybernetics,
PhD student, Department of Economic Cybernetics

Oles Honchar Dnipro National University
72 Gagarin Avenue, Dnipro, 49010, Ukraine
efanovati@gmail.com

This article contains the results of a study on regional development, in particular a review of existing principles and the development of an effective approach to the analysis of the regional space for improving the social and economic environment in the regions. An analysis of the results of carried out experiments revealed a discrepancy between the traditional approaches to the real conditions of the regions development. The suggested approach, based on the principles of neuro-fuzzy modeling and expert methods, combines scenario calculations with qualitative and quantitative indicators, experts knowledge in the subject area. It allows reaching a topological ordering of objects, dividing into groups and analyzing the dynamics of development of districts of the chosen region. The approbation of the proposed methodological approach was carried out using real data on the activities of districts of Dnipropetrovsk region in 2006-2015, which confirmed the effectiveness of the developed mathematical tools in identifying common patterns in the development of areas according to their financial and social indicators.

Keywords: *regional development, Kohonen self-organization map, fuzzy logic, expert method.*

JEL Classification: C61, R11

Постановка проблеми

Регіональна економічна система України сьогодні перебуває у стані кардинальних змін, які потребують реального оцінювання поточного стану та однозначного формулювання завдань розвитку. Традиційні підходи та способи формування перспективних стратегій розвитку регіону в умовах сучасних реалій, які характеризуються відсутністю яких-небудь достовірних кількісних прогнозів у масштабі всієї країни, значно ускладнюють вирішення завдання розробки ефективної соціально-економічної стратегії на рівні регіону. Через це існує нагальна потреба у неперервному,

своєчасному, достовірному моніторингу соціально-економічної ситуації, тактичному та стратегічному плануванні регіональних процесів і розробки інструментарію формування стратегій.

Активний перехід до децентралізації став передумовою зміщення акценту з державної стратегії до регіональної. Стратегія розвитку окремого регіону має розроблятися відповідно до Державної стратегії регіонального розвитку, в якій визначаються пріоритетні напрямки для кожного регіону.

У регіонах прийнята значна кількість цільових програм, але не всі вони розроблені відповідно до регіональних стратегій. Це призводить до розпорошення та неефективного використання бюджетних ресурсів і, відповідно, недосягнення цілей і завдань соціально-економічного розвитку регіону, суттєвого ускладнення контролю за результативністю виконання програм, неможливості ефективної концентрації бюджетних ресурсів і продуктивнішого їх використання. Тому, необхідно чітко окреслити коло показників, які адекватно відображають загальноекономічну та соціальну ситуацію в регіоні, та обрати методики, які дозволять одержати обґрунтовані пропозиції з формування стратегії регіонального розвитку.

Аналіз останніх джерел і публікацій

Питання соціально-економічного розвитку територій і формування їх соціальної політики неодноразово порушувались у працях зарубіжних і вітчизняних науковців, зокрема, С. І. Богуславської [1], З. С. Варналія [2], М. А. Захарової [3], В. Є. Реутової [4] та ін. Більшість учених розглядали підходи до визначення складових регіональної соціальної політики, не приділяючи увагу методології для визначення кількісного показника рівня її ефективності. Спроби кількісно оцінити подібний показник закінчувалися невдало, адже складно врахувати якісні складові формування соціальної політики.

Для оцінки якісних показників рівня розвитку соціальної політики застосовуються експертні методи та методологія нечіткого моделювання, які дають можливість кількісно оцінювати різноманітні якісні характеристики. Розробкою, дослідженням і порівнянням різноманітних методів експертних оцінок займалися С. Д. Бешелев [5], О. Г. Гофман [6], Б. Г. Литвак [7], а також багато інших вітчизняних та іноземних науковців. Основні положення теорії нечітких моделей було закладено американським математиком Лотфі Заде [8]. В Україні питаннями нечіткого мо-

делювання в економіці займались В. В. Вітлінський [9], К. Ф. Ковальчук [10], А. В. Матвійчук [11] та ін.

Утім, низка питань, пов'язаних з поєднанням кількісних і якісних, суб'єктивних та об'єктивних характеристик із застосуванням експертних методів і нечіткої логіки до оцінювання рівня життя населення в регіонах, залишаються нерозв'язаними. Незважаючи на велику кількість робіт, присвячених класифікації регіонів, досі не було розроблено підходу, який би включав комплексний аналіз фінансово-економічної складової розвитку районів, рівня життя населення, як основного індикатора ефективності соціальної політики, та виявлення можливих траєкторій і тенденцій розвитку.

Мета і завдання дослідження

Метою роботи є обґрунтування теоретико-методологічних положень і практичних рекомендацій щодо визначення тенденцій формування регіонального простору на засадах економіко-математичного моделювання. Основним завданням статті є побудова моделі оцінювання внутрішньорегіональної диференціації в динаміці у контексті економічного розвитку регіону на підґрунті поєднання інструментарію теорії нечіткої логіки та технологій штучних нейронних мереж.

Виклад основного матеріалу

Соціально-економічна ситуація в регіоні у кожен момент часу $t = \overline{1, T}$ характеризується певними комбінаціями параметрів розвитку усіх районів, які входять до його складу. На зростання рівня розвитку районів впливають як фінансово-економічні H , так і соціальні показники $\tilde{H}$, які утворюють матрицю $\hat{E} = \{\hat{e}_h^r\}; t = \overline{1, T}; h = \overline{1, H + \tilde{H}}; r = \overline{1, R}$, де $\hat{e}_h^r$ – значення h -го показника розвитку r -го району в момент часу t . Звертаємо увагу, що самі соціальні показники містяться у векторі-стовпці $Y = (y_1, y_2, \dots, y_{\tilde{H}})$, $h = \overline{1, \tilde{H}}$. Необхідно:

– визначити кількісні характеристики якісних показників розвитку. При цьому основним індикаторним параметром пропонується розглядати рівень ефективності проведення соціальної політики в районах області як одної із якісних складових рівня життя населення кожного району;

– згрупувати райони в однорідні групи, тобто провести топологічне упорядкування районів з метою оцінювання ефективності державної регіональної політики, в контексті фінансових і соціальних показників розвитку.

Для розв'язання сформульованої задачі пропонується застосувати методологічний підхід, за яким слід:

– сформувати тривимірну матрицю лінгвістичних оцінок $\tilde{E} = \{\tilde{e}_h^{tr}\}; t = \overline{1, T}; h = \overline{1, \hat{H}}; r = \overline{1, R}$, де елемент $\tilde{e}_h^{tr}$ – це лінгвістична оцінка r -го району за h -им якісним показником соціального розвитку протягом t -го періоду часу;

– здійснити перехід від оцінок якісних показників тривимірної матриці $\tilde{E} = \{\tilde{e}_h^{tr}\}$ у кількісні значення $G = \{g_h^{tr}\}; t = \overline{1, T}; h = \overline{1, \hat{H}}; r = \overline{1, R}$, які нададуть можливість визначити рівень ефективності соціальної політики в розрізі районів, тобто сформувати двовірну матрицю $U = \{\delta^{tr}\}; t = \overline{1, T}; r = \overline{1, R}$;

– сформувати тривимірну матрицю $\bar{E} = \{\bar{e}_h^{tr}\}; t = \overline{1, T}; h = \overline{1, \hat{H}}; r = \overline{1, R}; \hat{H} = H + 1$, інформативних показників, які поєднують кількісні та якісні оцінки районів, де $\hat{H}$ – кількість показників, що мають кількісний характер ($\bar{e}_h^{tr} = \hat{e}_h^{tr}, t = \overline{1, T}; h = \overline{1, \hat{H}}$). У кожен t -ий період часу елемент $\bar{e}_{H+1}^{tr}$ буде приймати значення $\delta^{tr}, t = \overline{1, T}; r = \overline{1, R}$, для інтегральної кількісної оцінки якісних соціальних показників. Таким чином, елементи матриці утворюють вектори $\varepsilon^{tr} = \{\hat{e}_1^{tr}, \dots, \hat{e}_H^{tr}, \delta^{tr}\}, t = \overline{1, T}; r = \overline{1, R}$. Тоді сама матриця може бути записана у вигляді $\bar{E} = \{\varepsilon^{tr}\}, t = \overline{1, T}; r = \overline{1, R}$;

– провести кластеризацію районів за фінансово-соціальними показниками, тобто визначити місце кожного з R районів серед інших у момент часу $t, t = \overline{1, T}$.

Загальну схему реалізації підходу до оцінювання внутрішньорегіональної диференціації в динаміці у контексті розвитку регіонального простору, яка включає усі зазначені етапи, зображено на рис. 1.

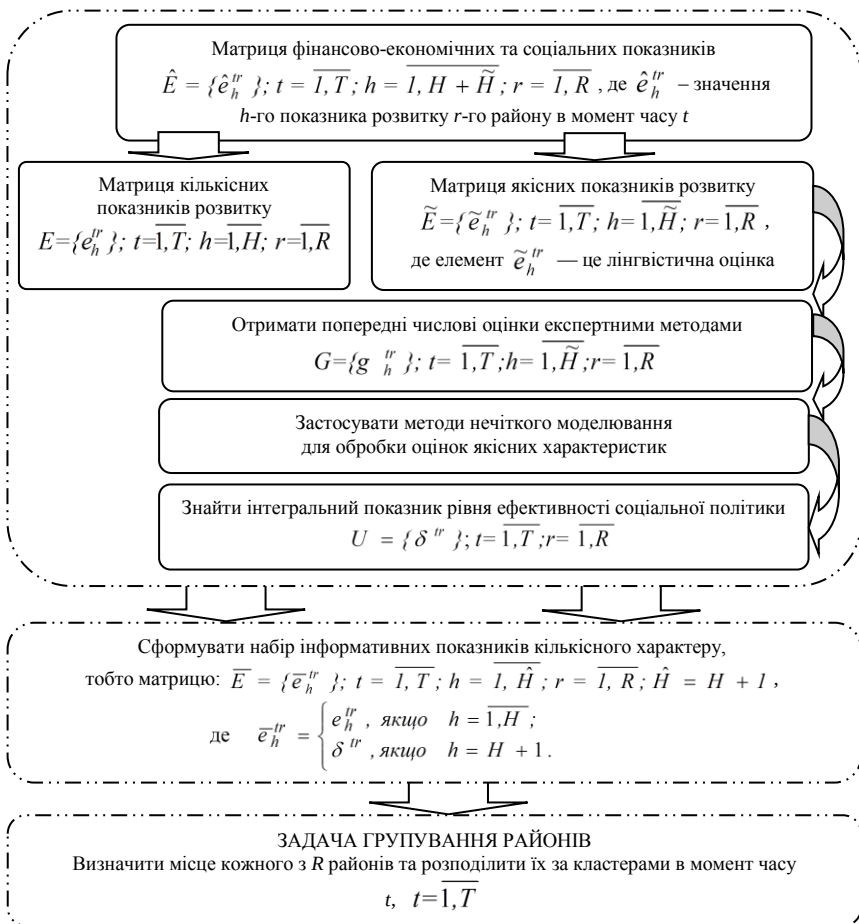


Рис. 1. Схема оцінювання внутрішньорегіональної диференціації в динаміці у контексті розвитку регіонального простору [авторська розробка]

Задачу визначення кількісних оцінок якісних показників розвитку розглянемо детальніше.

На основі матриці $\tilde{E} = \{\tilde{e}_h^{tr}\}; t = \overline{1, T}; h = \overline{1, \tilde{H}}; r = \overline{1, R}$, формуємо матрицю кількісних експертних оцінок за соціальними показниками

$G=\{g_h^{tr} \}; t=\overline{1,T}; h=\overline{1,\widetilde{H}}; r=\overline{1,R}$. Для того, щоб представити лінгвістичні оцінки в кількісній формі, необхідно провести попередню їх обробку із застосуванням експертних методів. У результаті отримуються елементи матриці G , де g_h^{tr} – кількісна оцінка h -го соціально-го показника розвитку у кожен t -ий період часу для r -го району.

Етапи отримання експертної суб'єктивної оцінки рівня розвитку соціальної політики по районах для кожного року $t, t=\overline{1,T}$ є такими:

- визначення мінімально-необхідної кількості експертів $\kappa_{\max}$;
- формування матриці $\widetilde{\Psi}$, яка складається з векторів $\overline{\psi}_h=(\widetilde{\psi}_{h1},\dots,\widetilde{\psi}_{hp},\dots,\widetilde{\psi}_{h\kappa_{\max}}), h=\overline{1,\widetilde{H}}$, з елементами $\widetilde{\psi}_{hp}$, які є кількісними оцінками за h -показником і виставлені p -експертом, $p=\overline{1,\kappa_{\max}}$. Дана матриця формується на основі тривимірної матриці лінгвістичних оцінок $\widetilde{E}=\{\widetilde{e}_h^{tr} \}; t=\overline{1,T}; h=\overline{1,\widetilde{H}}; r=\overline{1,R}$, із застосуванням шкали, що наведена в табл. 1.

Таблиця 1

ШКАЛА ПЕРЕХОДУ ВІД ЛІНГВІСТИЧНИХ ОЦІНОК ДО КІЛЬКІСНИХ ОЦІНОК

Якісний показник	Лінгвістичне значення показника $\widetilde{e}_h^{tr}$	Шкала оцінювання $\widetilde{\psi}_{hp}$
y_1	низький	0–3
	допустимий	3–7
	високий	7–10
y_2	низький	0–4
	середній	4–7
	високий	7–10
...	...	...
	...	...
	...	...
$y_{\widetilde{H}}$	неефективний	0–2
	помірно ефективний	2–6
	високо ефективний	6–10

- оцінка рівня компетентності експертів α_p , $p = \overline{1, \kappa_{\max}}$;
- оцінка альтернатив і визначення їх корисності $\tilde{\psi}_h$, $h = \overline{1, \tilde{H}}$
(в якості оцінюваних альтернатив виступають соціальні показники діяльності районів області, для яких має бути визначена індивідуальна суб'єктивна оцінка, яка дає можливість визначати важливість кожної із альтернатив при оцінюванні рівня ефективності соціальної політики);
- визначення ступеня узгодженості оцінок об'єктів експертизи K_h^t , $h = \overline{1, \tilde{H}}$;
- аналіз отриманих результатів експертизи.

Зазначимо, що на розмір експертної групи впливає велика кількість факторів та обставин, зокрема ступінь актуальності, складність і багатогранність проблеми, яку необхідно вирішити. Мінімально-необхідна кількість експертів розраховується за формулою [5]:

$$\kappa_{\max} = 0,5 * (3/\phi + 5), \quad (1)$$

де $\phi \in (0; 1)$ – можлива помилка результатів експертизи, що задається особою, яка проводить експертизу.

Виходячи із значення $\kappa_{\max}$ особа, яка приймає рішення, має сформувати групу експертів, оцінити рівень їх компетентності α_p та визначити корисність кожної із оцінюваних альтернатив $\tilde{\psi}_h$.

Для обробки експертних суджень використовуємо метод групового оцінювання, який дозволяє визначити коефіцієнт компетентності експертів α_p та групові оцінки якісних характеристик $\tilde{\psi}_h$. При цьому компетентність експертів визначається за ступенем узгодженості їх оцінок із груповою оцінкою. На підставі суджень експертів формується матриця $\tilde{\Psi}$ кількісних оцінок за кожною суб'єктивною характеристикою:

$$\tilde{\Psi} = \{\tilde{\psi}_{hp}\}, \quad h = \overline{1, \tilde{H}}, p = \overline{1, \kappa_{\max}}, \quad (2)$$

де $\tilde{\psi}_{hp}$ – оцінка за h -показником p -експертом.

Процес знаходження зазначених характеристик представляє собою ітераційну процедуру. Вагові коефіцієнти компетентності експертів α_p містяться у відповідному векторі-рядку, рівність компонент якого означає, що експерти на початковому етапі мають однаковий ступінь компетентності:

$$\alpha^0 = (\alpha_1^0, \alpha_2^0, \dots, \alpha_{\kappa_{\max}}^0) = (1/\kappa_{\max}, 1/\kappa_{\max}, \dots, 1/\kappa_{\max}). \quad (3)$$

На основі цього вектора визначається групова оцінка якісних характеристик діяльності районів $\tilde{\psi}_h^\tau$, що являє собою корисність альтернатив, значення яких містяться у векторі-стовпці $\overline{\psi}_h$, $h=1, \tilde{H}$:

$$\tilde{\psi}_h^{\tau+1} = \sum_{p=1}^{\kappa_{\max}} \alpha_p^\tau * \tilde{\psi}_{hp}, \quad h=1, \tilde{H}, \quad \tau=1, \overline{Z}. \quad (4)$$

Зазначимо, що $\sum_{h=1}^{\tilde{H}} \tilde{\psi}_h^{\tau+1} = 1$.

Отримані значення групової оцінки використовуються для коригування коефіцієнтів компетентності, які заносяться у вектор-рядок $\alpha^\tau = (\alpha_1^\tau, \alpha_2^\tau, \dots, \alpha_{\kappa_{\max}}^\tau)$, $\tau=1, \overline{Z}$, елементи α_p^τ якого розраховуються за формулою:

$$\alpha_p^{\tau+1} = 1/\mathcal{G}^\tau \sum_{h=1}^{\tilde{H}} \tilde{\psi}_{hp} * \tilde{\psi}_h^\tau, \quad p=1, \kappa_{\max}, \quad \tau=1, \overline{Z}, \quad (5)$$

де $\mathcal{G}^\tau = \sum_{h=1}^{\tilde{H}} \sum_{p=1}^{\kappa_{\max}} \tilde{\psi}_{hp} * \tilde{\psi}_h^{\tau-1}$, що є коефіцієнтом, який водиться для

нормування ваг компетентностей експертів $\left(\sum_{p=1}^{\kappa_{\max}} \alpha_p^\tau = 1 \right)$.

Для розрахунку рівня компетентності експертів α_p та рівня корисності альтернатив $\tilde{\psi}_h$ застосовуємо теорему Фробеніуса–Перона, згідно якої за умови, що $\tau \rightarrow \infty$, вектор-стовпець з оцінками корисності альтернатив $\tilde{\psi}_h^\tau$, $h=1, \tilde{H}$, та вектор-рядок з оцінками рівня компетентності експертів α_p^τ , $p=1, \kappa_{\max}$, збігаються до власних векторів матриць $\tilde{\Psi} * \tilde{\Psi}^T$ і $\tilde{\Psi}^T * \tilde{\Psi}$, відповідно [12].

На наступному етапі аналізу, який проводиться експертною групою, формується матриця кількісних експертних оцінок за соціальними показниками $G = \{g_h^{tr}\}$; $t=1, T; h=1, \tilde{H}; r=1, R$. Кожен p -ий експерт у період часу t виставляє кожному r -му району за h -м показником деяке число ξ_{hp}^{tr} , яке відповідає кількісному значенню лінгвістичної оцінки, шкалу якої наведено в табл. 2.

Таблиця 2

КІЛЬКІСНА ШКАЛА ЛІНГВІСТИЧНОЇ ОЦІНКИ

Якісний показник	Лінгвістичне значення показника	Шкала оцінювання ξ_{hp}^{tr}
y_1	низький	0–0,3
	допустимий	0,3–0,7
	високий	0,7–1
y_2	низький	0–0,2
	середній	0,2–0,6
	високий	0,6–1
...	...	...
	...	...
	...	...
$y_{\tilde{H}}$	неефективний	0–0,4
	помірно ефективний	0,4–0,7
	високо ефективний	0,7–1

Підсумкова кількісна оцінка соціальних показників розвитку у кожен t -ий період часу за h -м показником r -го району розраховується за формулою:

$$g_h^{tr} = \sum_{p=1}^{\kappa_{\max}} (\xi_{hp}^{tr} * \tilde{\psi}_h * \alpha_p), t = \overline{1, T}, h = \overline{1, \tilde{H}}, r = \overline{1, R}, \quad (6)$$

де ξ_{hp}^{tr} – оцінка r -го району p -м експертом за h -м показником у t -ий період часу;

$\tilde{\psi}_h$ – оцінка корисності h -ої альтернативи;

α_p – оцінка компетентності p -го експерта.

Для того, щоб упевнитись у достовірності оцінок g_h^{tr} кількісно оцінимо ступінь узгодженості думок експертів, розраховавши для кожного h -го показника значення коефіцієнта конкордації [5]:

$$K_h^t = \frac{12 * d_h^t}{\kappa_{\max}^2 * (\tilde{H}^3 - \tilde{H})}; t = \overline{1, T}, h = \overline{1, \tilde{H}}, \quad (7)$$

$$\text{де } d_h^t = \sum_{r=1}^R d_h^{tr2} = \sum_{r=1}^R \left(\sum_{p=2}^{\kappa_{\max}} r_{hp}^{tr} - 0,5 * \kappa_{\max} * (\tilde{H} + 1) \right)^2; t = \overline{1, T}, h = \overline{1, \tilde{H}};$$

$\kappa_{\max}$ – кількість експертів;

$\tilde{H}$ – кількість властивостей, які розглядаються;

R – кількість районів регіону;

T – кількість періодів часу, за які аналізується статистика за районами;

r_{hp}^{tr} – місце, яке зайняв r -ий район серед інших районів у ранжуванні p -м експертом за h -м показником у період часу t ;

d_h^{tr} – відхилення суми рангів по r -ому району за h -м показником від середнього арифметичного сум рангів за $\tilde{H}$ показниками у t -ий період.

Слід зазначити, що $K_h^t \in [0;1]$. Якщо $K_h^t = 0$, то це свідчить про абсолютну протилежність оцінок експертів, а якщо $K_h^t = 1$ – повне співпадіння ранжувань. Достовірність оцінювання вважається адекватною, якщо $K_h^t \geq 0,7$.

Соціально-економічна ситуація, яка притаманна регіону, характеризується певними комбінаціями параметрів розвитку кожного району, які входять до складу області. На зростання рівня розвитку районів впливають як фінансово-економічні, так і соціальні показники. Більше того, соціальні характеристики вже давно виступають центральними індикаторами, які визначають збалансований розвиток будь-якого регіону. Однією з якісних складових рівня життя населення, яка є найскладнішою категорією у соціальній теорії, є показник ефективності проведення соціальної політики в районах області.

Тож наступний етап запропонованого методологічного підходу до оцінювання внутрішньорегіональної диференціації полягає у знаходженні інтегрального показника рівня ефективності проведення соціальної політики δ^{tr} , $t=\overline{1,T}; r=\overline{1,R}$, на засадах інструментарію нечіткого моделювання.

Необхідно сформувати двовимірну матрицю $U = \{\delta^{tr}\}; t=\overline{1,T}; r=\overline{1,R}$, яка отримується шляхом обробки тривимірної матриці $G = \{g_h^{tr}\}; t=\overline{1,T}; h=\overline{1,\widetilde{H}}; r=\overline{1,R}$, що містить кількісні оцінки тих якісних показників соціального розвитку, за якими було оцінено окремий район для кожного t -го періоду часу.

Процес нечіткого моделювання для знаходження інтегрального показника рівня ефективності проведення соціальної політики δ^{tr} , $t=\overline{1,T}; r=\overline{1,R}$, можна представити такими етапами [13]:

— формування вхідних факторів $Y = (y_1, y_2, \dots, y_{\widetilde{H}})$ і вибір якісної результуючої змінної ESC^{tr} , $t=\overline{1,T}; r=\overline{1,R}$, що відповідає кількісному показнику δ^{tr} ;

— процес фазифікації (введення нечіткості) – встановлення відповідності між конкретним значенням вхідної змінної системи

нечіткого висловлювання і значенням її функції належності до кожної нечіткої множини, що описується відповідним лінгвістичним термом;

— формування нечіткої бази знань – правил, на основі яких формується нечіткий логічний висновок стосовно ефективності рівня соціальної політики за районами;

— проведення модельних експериментів та уточнення параметрів моделі;

— формулювання висновків і рекомендацій.

Як зазначалося, вхідними даними для отримання інтегральної оцінки розвитку соціальної політики районів $\delta^{tr}, t=\overline{1, T}; r=\overline{1, R}$, визначеної для T періодів часу, є матриця $G = \{g_h^{tr}\}$, яка складається з елементів $g_h^{tr}, t=\overline{1, T}; h=\overline{1, \widetilde{H}}; r=\overline{1, R}$, що визначають підсумкову експертну оцінку r -го району за h -м показником.

Прийняття рішення щодо визначення рівня ефективності соціальної політики здійснюється відповідно до алгоритму Мамдані [14].

Крок 1. Вектор фіксованих значень вхідних змінних визначається вектором $Y = (y_1, y_2, \dots, y_{\widetilde{H}})$, який містить у собі якісні показники для оцінки рівня ефективності соціальної політики.

Крок 2. Скласти нечітку базу знань у вигляді сукупності нечітких правил типу “ЯКЩО — ТОДІ”, що визначають взаємозв’язок між вхідними змінними $Y = (y_1, y_2, \dots, y_{\widetilde{H}})$ та результуючою змінною $ESC^{tr}, t=\overline{1, T}; r=\overline{1, R}$, моделі. На основі цієї бази виводиться система нечітких логічних рівнянь типу Мамдані для всіх варіантів вихідної змінної, що враховувала б усі терми з множини $W_h = \{w_h^1, w_h^2, \dots, w_h^{f_h}\}, h=\overline{1, \widetilde{H}}$, де f_h – кількість термів у множині W_h вхідної змінної $y_h, h=\overline{1, \widetilde{H}}$.

Вигляд вирішальних правил для оцінки рівня ефективності проведення соціальної політики у загальному вигляді представлено у табл. 3, в якій $w_h^{df_d}$ – значення лінгвістичного терму вхід-

ної змінної y_h , $h = \overline{1, \tilde{H}}$, за f_d правилом, що відповідає d -му терму результуючої змінної, а $\omega_{f_d}^d$ – вага правила прийняття рішення.

Таблиця 3

ЗАГАЛЬНИЙ ВИГЛЯД НЕЧІТКОЇ БАЗИ ЗНАНЬ

№ вхідної комбінації	Вхідні змінні						Вага правила	Вихідна змінна
	y_1	y_2	...	y_h	...	$y_{\tilde{H}}$	ω	ESC
11	w_1^{11}	w_2^{11}	...	w_h^{11}	...	$w_{\tilde{H}}^{11}$	ω_1^1	V_1
...	...	...	...	...	...	...	...	
$1f_1$	$w_1^{1f_1}$	$w_2^{1f_1}$	...	$w_h^{1f_1}$	...	$w_{\tilde{H}}^{1f_1}$	$\omega_{f_1}^1$	
...	...	...	...	...	...	...	...	...
$D1$	w_1^{D1}	w_2^{D1}	...	w_h^{D1}	...	$w_{\tilde{H}}^{D1}$	ω_1^D	V_D
...	...	...	...	...	...	...	...	
Df_D	$w_1^{Df_D}$	$w_2^{Df_D}$	...	$w_h^{Df_D}$	...	$w_{\tilde{H}}^{Df_D}$	$\omega_{f_D}^D$	

Нечітка база знань, яка побудована, спираючись на знання експертів, ставить у відповідність вектору вхідних змінних одне з можливих значень $v_d, d = \overline{1, D}$, за принципом “ЯКЩО — ТОДІ”, тобто:

$$\text{ЯКЩО } (y_1 = w_1^{11}) \text{ ТА } (y_2 = w_2^{11}) \text{ ТА} \dots \text{ ТА } (y_{\tilde{H}} = w_{\tilde{H}}^{11})$$

(з вагою ω_1^1)

$$\text{АБО } (y_1 = w_1^{12}) \text{ ТА } (y_2 = w_2^{12}) \text{ ТА} \dots \text{ ТА } (y_{\tilde{H}} = w_{\tilde{H}}^{12})$$

(з вагою ω_2^1)

$$\begin{aligned}
& \text{АБО} \quad \dots \\
& \text{АБО} \quad (y_1 = w_1^{1f_1}) \text{ ТА } (y_2 = w_2^{1f_1}) \text{ ТА } \dots \text{ ТА } (y_{\tilde{H}} = w_{\tilde{H}}^{1f_1}) \\
& (\text{з вагою } \omega_{f_1}^1), \\
& \text{ТОДІ } ESC = v_1. \\
& \text{ЯКЩО} \quad (y_1 = w_1^{D1}) \text{ ТА } (y_2 = w_2^{D1}) \text{ ТА } \dots \text{ ТА } (y_{\tilde{H}} = w_{\tilde{H}}^{D1}) \\
& (\text{з вагою } \omega_1^D), \\
& \text{АБО} \quad \dots \\
& \text{АБО} \quad (y_1 = w_1^{Df_D}) \text{ ТА } (y_2 = w_2^{Df_D}) \text{ ТА } \dots \text{ ТА } (y_{\tilde{H}} = w_{\tilde{H}}^{Df_D}) \\
& (\text{з вагою } \omega_{f_D}^D), \\
& \text{ТОДІ } ESC = v_D.
\end{aligned} \tag{8}$$

Базу правил прийняття рішень і систему нечітких логічних рівнянь у компактній формі можна записати як:

$$\mu^{vd}(y_1, y_2, \dots, y_{\tilde{H}}) = \bigvee_{l=1}^{fd} \left(\omega_l^d \left[\bigwedge_{h=1}^{\tilde{H}} \mu^{w_h^{dl}}(y_h) \right] \right), d = \overline{1, D}. \tag{9}$$

Після проведення операції дефазифікації (перетворення нечіткої множини у чітке число) знаходиться кількісна оцінка результуючої змінної ESC^{tr*} , яка відповідає заданому вхідному вектору Y [11].

У результаті обробки отриманих експертних оцінок якісних показників за допомогою побудованої нечіткої моделі, для кожного r -го району в період часу t визначається числове значення інтегрального показника рівня ефективності соціальної політики δ^{tr} , утворюючи таким чином загальну для регіону матрицю $U = \{\delta^{tr}\}; t = \overline{1, T}; r = \overline{1, R}$.

Крок 3. Відповідно до вектора вхідних змінних $Y = (y_1, y_2, \dots, y_{\tilde{H}})$ і результуючого показника ESC^{tr} , $t = \overline{1, T}; r = \overline{1, R}$,

задається вигляд функції належності $\mu^{v_d}(y_1, y_2, \dots, y_{\tilde{H}})$ нечітких термів $V = \{v_d\}, d = \overline{1, D}$.

Для опису всіх лінгвістичних термів як вхідних, так і результуючої змінних пропонується застосовувати квазідзвоноподібні функції належності. Зокрема, аналітичний вигляд функції належності результуючої змінної ESC^{tr} , $t = \overline{1, T}; r = \overline{1, R}$, задається співвідношенням:

$$\mu^{v_d}(Y) = \frac{1}{1 + \left(\frac{Y - b_{v_d}}{c_{v_d}} \right)^2}, \quad (10)$$

де $\mu^{v_d}(Y)$ – належність змінної Y до відповідного терму $V = \{v_d\}, d = \overline{1, D}$;

c_{v_d} – коефіцієнт концентрації-розтягування квазідзвоноподібної функції належності;

b_{v_d} – координата максимуму функції належності.

Для конкретизації виду цієї функції необхідно задати орієнтовні межі змін усіх нечітких множин кожного з показників y_h , $h = \overline{1, \tilde{H}}$, відповідно до їх нормативних значень. Таким чином встановлюються рівні показників, які будуть відповідати своїм лінгвістичним термам.

Параметри квазідзвоноподібних функцій належності для вхідних змінних, які були застосовані в дослідженні, представлено в табл. 4. Зауважимо, що чим більше значення коефіцієнту концентрації-розтягування c_{v_d} , тим пологіший вигляд має функція належності. Низьке значення коефіцієнта концентрації-розтягування акцентує увагу на невеликому околі координати максимуму, що притаманне вхідним змінним з невеликим розмахом [15].

Таблиця 4

**ПАРАМЕТРИ КВАЗІДЗВОНОПОДІБНИХ
ФУНКЦІЙ НАЛЕЖНОСТІ ВХІДНИХ ЗМІННИХ**

Вхідна змінна	Лінгвістичне значення показника	Коефіцієнт концентрації-розтягування функції C_{v_d}	Координата максимуму функції b_{v_d}
y_1	низький	0,7	0
	допустимий	0,7	1
	високий	0,7	4
y_2	низький	0,4	0
	середній	0,3	0,3
	високий	0,3	0,6
y_3	кризовий	1	2
	передкризовий	1	6
	задовільний	4	9
...	...	...	...
	...	...	...
	...	...	...
$y_{\tilde{H}}$	неефективний	0,8	0
	помірно ефективний	1	2
	високо ефективний	1	4

Крок 4. Застосовуючи логічні рівняння, обчислюються значення функцій належності $\mu^{v_d}(y_1, y_2, \dots, y_{\tilde{H}})$ вектора $Y = (y_1, y_2, \dots, y_{\tilde{H}})$ для всіх значень $v_d \in V, d = \overline{1, D}$, вихідної змінної $ESC^r, t = \overline{1, T}; r = \overline{1, R}$.

Крок 5. Значення функції належності $\mu^{v_d}(y_1, y_2, \dots, y_{\tilde{H}})$ для кожного лінгвістичного терму $v_d, d = \overline{1, D}$, результуючої змінної $ESC^r, t = \overline{1, T}; r = \overline{1, R}$, моделі у кожний t -ий період часу для кожного r -го району розраховується таким чином:

$$ESC^{tr} = \arg \max_{\{v_1, v_2, \dots, v_d\}} \left[\mu^{v_d}(y_1, y_2, \dots, y_{\tilde{H}}) \right], t = \overline{1, T}, r = \overline{1, R}. \quad (11)$$

Розглянемо процес формування бази знань для визначення «ефективного рівня» проведення соціальної політики.

Спочатку для оцінки всіх якісних показників вхідних y_h , $h = \overline{1, \tilde{H}}$, і результуючої ESC^{tr} , $t = \overline{1, T}; r = \overline{1, R}$, змінних сформуємо власні множини можливих лінгвістичних змінних. Так для вхідної змінної y_1 , яка відповідає рівню екологічного забруднення, застосуємо шкалу якісних термів із терм-множини $W_1 = \{w_1^1, w_1^2, \dots, w_1^{f_1}\} = \{H, D, B\}$: H – кризовий рівень показника, D – передкризовий і B – допустимий. Аналогічним чином формуються терм-множини для інших якісних показників. Для оцінки результуючої змінної ESC^{tr} , $t = \overline{1, T}; r = \overline{1, R}$, будемо використовувати терми із множини $v_d \in V = \{E\Phi, ПЕ, HE\}$: $E\Phi$ – ефективний рівень, $ПЕ$ – помірно ефективний рівень, HE – неефективний рівень.

Після визначення лінгвістичних змінних будуємо функції належності вхідних і результуючої змінної, які мають квазідзвоноподібний вигляд. Експертна система на базі нечітких правил для результуючої змінної ESC^{tr} , яка ставить у відповідність їй терм $E\Phi$ (ефективний рівень), наведена у табл. 5.

Таблиця 5

**НЕЧІТКА БАЗА ЗНАНЬ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ
«ЕФЕКТИВНОГО РІВНЯ» СОЦІАЛЬНОЇ ПОЛІТИКИ**

№ вхідної комбінації	Вхідні змінні				Вага правила	Вихідна змінна
	y_1	y_2	...	$y_{\tilde{H}}$	ω	ESC
11	B	D	...	D	$\omega_1^{E\Phi}$	$E\Phi$
12	D	D	...	B	$\omega_2^{E\Phi}$	
...	...	...	...	...	...	
$1f_1$	B	H	...	B	$\omega_{f_1}^{E\Phi}$	

Правила прийняття рішень для визначення «ефективного рішення» соціальної політики в аналітичній формі набувають вигляд:

$$\begin{aligned} \mu^{E\Phi}(y_1, \dots, y_{\tilde{H}}) &= \omega_1^{E\Phi} [\mu^B(y_1) \times \mu^D(y_2) \times \dots \times \mu^D(y_{\tilde{H}})] \vee \\ &\vee \omega_2^{E\Phi} [\mu^D(y_1) \times \mu^D(y_2) \times \dots \times \mu^B(y_{\tilde{H}})] \vee \dots \vee \\ &\vee \omega_{f_1}^{E\Phi} [\mu^B(y_1) \times \mu^H(y_2) \times \dots \times \mu^B(y_{\tilde{H}})], \end{aligned} \quad (12)$$

де $\mu^{v_d}(y_1, \dots, y_{\tilde{H}})$ – функція належності вектора вхідних змінних $(y_1, \dots, y_{\tilde{H}})$ лінгвістичному терму $v_d \in V, d = \overline{1, D}$, результуючої змінної;

v_d – значення вихідної змінної ESC^{tr} , $t = \overline{1, T}; r = \overline{1, R}$, з термножини $\{E\Phi, ПЕ, HE\}$;

$\omega_{f_d}^d$ – ваги правил (числа з діапазону $[0, 1]$, що характеризують ступінь упевненості експерта в істинності конкретного правила);

f_d – номер правила, що відповідає d -му терму результуючої змінної ESC^{tr} , $t = \overline{1, T}; r = \overline{1, R}$;

D – кількість лінгвістичних значень результуючої змінної ESC^{tr} [16].

Згідно сформульованого методологічного підходу далі постає задача об'єднання районів за однорідними групами.

Для адекватного аналізу та оцінки соціально-економічного потенціалу районів у контексті регіону необхідно, щоб фактори, які враховуються під час кластеризації, охоплювали різні групи показників, такі як фінансові, соціальні, демографічні, освітні та інші. Тому матрицю $\bar{E} = \{\hat{e}_1^{tr}, \dots, \hat{e}_H^{tr}, \delta^{tr}\}$, $t = \overline{1, T}; r = \overline{1, R}$, для групування районів було сформовано з урахуванням кількісних і якісних показників.

Для вирішення цієї задачі пропонується застосовувати самоорганізуючі Карті Кохонена. На відміну від класичного кластерного аналізу, який дозволяє лише згрупувати однорідні об'єкти, карти Кохонена на додачу до цього також надають можливість візуалізувати результати. Також карти Кохонена не потребують наявності апріорної інформації про параметри кластерів. Зокре-

ма, формування «еталонів класів» у процесі навчання такої нейронної мережі відбувається на основі вхідної інформації.

Топологія самоорганізуючих карт Кохонена представлена нейронною мережею, яка складається з нейронів вхідного шару, що виконують розподільчу функцію, і обчислювального шару, нейрони якого розташовуються на площині – шар Кохонена. Карта самоорганізації навчається «без учителя» – це такий вид оптимізаційної моделі, при якому значення вихідної змінної заздалегідь невідомі і нейромережа вчиться виявляти приховані закономірності у масиві вхідних даних. Мета функціонування мережі полягає у здійсненні топологічного упорядкування вхідних сигналів, за якого «сусіднім» вхідним образам знаходяться відповідні сусідні нейронні елементи з обчислювального шару. Для розв'язання цього завдання формується область тяжіння нейрона-переможця, у якій всі нейрони, які потрапляють у цю область, змінюють свої вагові коефіцієнти і тим самим стають більш подібними до поданого вектора даних і, відповідно, нейрона-переможця [17].

Перед проведенням навчання нейронної мережі здійснюється ініціалізація карти, тобто відбувається процедура привласнення невеликих випадкових чисел усім параметрам нейронів.

На кожному кроці навчання відбувається порівняння вектора вхідних значень з векторами усіх нейронів. У процесі цього відбувається «змагання» між нейронами з метою визначення нейрона-переможця, який має бути найближчим по значенню до вхідного вектора даних. У результаті такого ітеративного процесу на карті Кохонена формуються кластери із векторів з однорідними показниками.

Нехай $\tilde{s}$ – номер ітерації, $\tilde{s} = \overline{0, \tilde{S}}$ (на початковому етапі номер ітерації 0). У процесі самоорганізації карти Кохонена виконуються такі кроки:

- вибираємо випадковий вектор $\varepsilon^{tr} = \{\hat{e}_1^{tr}, ..., \hat{e}_H^{tr}, \delta^{tr}\}$, $t = \overline{1, T}$;
 $r = \overline{1, R}$, із множини вхідних значень $\bar{E} = \{\varepsilon^{tr}\}$;

- знаходимо нейрон, який є найближчим за евклідовою відстанню до вхідного вектора ε^{tr} :

$$\|\varepsilon^{tr}(\tilde{s}) - \tilde{n}_z(\tilde{s})\| \leq \|\varepsilon^{tr}(\tilde{s}) - \tilde{n}_l(\tilde{s})\| \forall \tilde{n}_l(\tilde{s}), \quad (13)$$

де $\tilde{n}_z(\tilde{s})$ – вектор ваг нейрона-переможця $\tilde{N}_z$;

$\tilde{n}_l(\tilde{s})$ – вектор ваг $\tilde{N}_l$ -го вузла на карті.

Якщо умові (13) задовольняють кілька нейронів, нейрон-переможець обирається з них випадковим чином;

- корегуємо вектори ваг нейронів. З кожною ітерацією здійснюється коригування ваг нейрона-переможця та його сусідів за формулою:

$$\tilde{n}_l(\tilde{s} + 1) = \tilde{n}_l(\tilde{s}) + o(\tilde{s}) * h_{z\tilde{l}}(\tilde{s})(\varepsilon^{tr}(\tilde{s}) - \tilde{n}_l(\tilde{s})), \quad (14)$$

де $0 < o(\tilde{s}) < 1$ – навчальний співмножник, монотонно спадаючий з кожною наступною ітерацією;

$h_{z\tilde{l}}(\tilde{s})$ – міра сусідства, яка визначає «ступінь сусідства» вузлів $\tilde{N}_z$ і $\tilde{N}_l$. На практиці для її реалізації зазвичай застосовують функцію Гауса:

$$h_{z\tilde{l}}(\tilde{s}) = \exp\left(\frac{\|r_z - r_{\tilde{l}}\|^2}{2\sigma^2(\tilde{s})}\right), \quad (15)$$

де $r_z, r_{\tilde{l}}$ – координати нейронів $\tilde{N}_z$ і $\tilde{N}_l$ на карті;

$\sigma(\tilde{s})$ – співмножник, який монотонно спадає по мірі навчання, зменшуючи кількість сусідів нейрона-переможця з кожною наступною ітерацією.

Параметри функцій $o(\tilde{s})$, $\sigma(\tilde{s})$ та їх характер спадання задаються аналітиком.

На «навчену» мережу подають новий вектор даних, що містить фінансово-соціальні показники певного району, визначають нейрон-переможець і виявляють кластер, відповідний цьому нейрону. Можемо зробити висновок, що новий вектор даних має властивості, які притаманні всім векторам (районам), що потрапили в даний кластер. Відповідність між об'єктами та нейронами більш-менш зберігають топологію простору вхідних даних. Кла-

си, які отримуються після кластеризації, є топологічно впорядкованими та можуть бути легко перегрупованими у разі необхідності [18].

Апробація запропонованого підходу була проведена на даних щодо розвитку районів Дніпропетровської області протягом десяти років (2006–2015 рр.), тобто $T = 10$. Аналіз діяльності районів Дніпропетровського регіону проводився за кількісними та якісними показниками розвитку. Зокрема, було визначено п'ять найбільш значущих якісних показників ($\tilde{H} = 5$):

- рівень екологічного забруднення u_1 ;
- рівень розвитку системи охорони здоров'я u_2 ;
- рівень розвитку культури u_3 ;
- рівень соціальної безпеки u_4 ;
- рівень якості послуг у сфері соціального обслуговування u_5 .

Далі формується група експертів, яка надає оцінку кожній із зазначених якісних характеристик. Розрахунок мінімально-необхідної кількості експертів за формулою (1), прийнявши $\phi = 0,15$, дозволив отримати значення $\kappa_{\max} \geq 12,5$. Тому було сформовано групу експертів з 15 осіб. Рівень компетентності кожного з них і корисність альтернатив було знайдено, застосовуючи метод групового оцінювання. За формулами (2)–(5) були розраховані коефіцієнти компетентності експертів α_p , $p = \overline{1, 15}$, та оцінки корисності кожного із якісних показників $\tilde{\psi}_h$, $h = \overline{1, 5}$, для періоду $t = 10$. Значення оцінок компетентності експертів зведено до табл. 6.

Таблиця 6

ОЦІНКИ КОМПЕТЕНТНОСТІ ЕКСПЕРТІВ

№ експерта (p)	Оцінка компетентності (α_p)
1	0,072366
2	0,072958
3	0,068298
4	0,068841

Закінчення табл. 6

5	0,05872
6	0,062992
7	0,07635
8	0,084441
9	0,061062
10	0,072755
11	0,062415
12	0,065135
13	0,049205
14	0,067201
15	0,057261

Оцінки корисності якісних показників розвитку $\tilde{\psi}_h$, $h = 1, \overline{H}$, за формулою (4) наведено у табл. 7.

Таблиця 7

ОЦІНКИ ЯКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ

№	Назва якісного показника	$\tilde{\psi}_h$
1.	Рівень екологічного забруднення	0,2127
2.	Рівень розвитку системи охорони здоров'я	0,2000
3.	Рівень розвитку культури	0,1958
4.	Рівень соціальної безпеки	0,2127
5.	Рівень якості послуг у сфері соціального обслуговування	0,1788

Наступний етап, який проводиться експертною групою, полягає у виставленні кожним експертом p у період часу t кожному району r за h -м показником у відповідність деякого числа ξ_{hp}^{tr} , яке знаходиться у проміжку від 0 до 1. У табл. 8 наведено матрицю, елементи якої ξ_{hp}^{tr} характеризують рівень екологічного забруднення ($h = 1$) у період часу $t = 10$.

Таблиця 8

ОЦІНКА ЕКСПЕРТІВ РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОГО ЗАБРУДНЕННЯ

Номер експерта Назва району	1	2	3	4	5	6	...	13	14	15
Апостолівський	0,56	0,6	0,78	0,81	0,6	0,73	...	0,73	0,73	0,56
Васильківський	0,65	0,71	0,72	0,4	0,67	0,45	...	0,72	0,69	0,53
Верхньодніпровський	0,7	0,65	0,61	0,55	0,6	0,49	...	0,62	0,54	0,49
Дніпровський	0,78	0,75	0,71	0,69	0,68	0,72	...	0,61	0,55	0,6
Криворізький	0,88	0,81	0,8	0,76	0,83	0,65	...	0,86	0,67	0,72
Криничанський	0,86	0,8	0,54	0,67	0,62	0,72	...	0,73	0,8	0,57
Магдалинівський	0,67	0,62	0,72	0,88	0,81	0,8	...	0,55	0,6	0,49
Межівський	0,62	0,54	0,49	0,88	0,81	0,76	...	0,7	0,55	0,6
Нікопольський	0,61	0,55	0,6	0,88	0,81	0,7	...	0,6	0,49	0,88
Новомосковський	0,86	0,67	0,72	0,69	0,68	0,69	...	0,72	0,76	0,76
Павлоградський	0,73	0,8	0,57	0,64	0,46	0,78	...	0,56	0,78	0,7
Петриківський	0,55	0,6	0,49	0,6	0,49	0,82	...	0,8	0,57	0,69
Петропавлівський	0,88	0,81	0,7	0,62	0,54	0,49	...	0,64	0,46	0,78
Покровський	0,88	0,81	0,6	0,61	0,55	0,6	...	0,6	0,49	0,82
П'ятихатський	0,69	0,68	0,73	0,8	0,57	0,68	...	0,62	0,54	0,49
Синельниківський	0,7	0,55	0,6	0,7	0,72	0,76	...	0,61	0,55	0,6
Солонянський	0,6	0,49	0,88	0,69	0,56	0,78	...	0,86	0,67	0,72
Софіївський	0,6	0,7	0,72	0,73	0,8	0,57	...	0,73	0,8	0,57
Томаківський	0,88	0,69	0,56	0,71	0,64	0,46	...	0,55	0,6	0,49
Царичанський	0,88	0,81	0,8	0,55	0,6	0,49	...	0,88	0,81	0,8
Широківський	0,78	0,7	0,55	0,6	0,49	0,81	...	0,88	0,81	0,8
Юр'ївський	0,55	0,6	0,49	0,88	0,81	0,8	...	0,69	0,68	0,72

За формулою (6) була визначена підсумкова кількісна оцінка якісних характеристик рівня розвитку соціальної політики по ра-

йонам Дніпропетровської області для кожного t -го періоду, значення яких для останнього періоду ($t = 10$) наведено у табл. 9.

Таблиця 9

**ЕКСПЕРТНІ ОЦІНКИ ЯКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК
РІВНЯ РОЗВИТКУ СОЦІАЛЬНОЇ ПОЛІТИКИ РАЙОНІВ
ДНІПРОПЕТРОВСЬКОЇ ОБЛАСТІ ЗА 2015 РІК**

Назва району \ Назва альтернативи	Рівень екологічного забруднення	Рівень розвитку системи охорони здоров'я	Рівень розвитку культури	Рівень соціальної безпеки	Рівень якості послуг у соціальному обслуговуванні
Апостолівський	0,700	0,348	0,468	0,469	0,41
Васильківський	0,808	0,598	0,328	0,511	0,483
Верхньодніпровський	0,750	0,496	0,190	0,712	0,583
Дніпровський	0,180	0,489	0,870	0,237	0,402
Криворізький	0,190	0,418	0,760	0,217	0,387
Криничанський	0,664	0,354	0,467	0,593	0,492
Магдалинівський	0,650	0,320	0,547	0,643	0,524
Межівський	0,630	0,360	0,360	0,607	0,289
Нікопольський	0,178	0,398	0,409	0,189	0,501
Новомосковський	0,637	0,598	0,453	0,591	0,542
Павлоградський	0,200	0,461	0,796	0,26	0,71
Петриківський	0,864	0,465	0,493	0,805	0,672
Петропавлівський	0,769	0,567	0,234	0,589	0,591
Покровський	0,470	0,754	0,234	0,432	0,481
П'ятихатський	0,624	0,564	0,567	0,348	0,375
Синельниківський	0,150	0,414	0,568	0,391	0,59
Солонянський	0,789	0,440	0,330	0,363	0,491
Софіївський	0,876	0,567	0,345	0,543	0,631
Томаківський	0,416	0,278	0,354	0,389	0,23
Царичанський	0,670	0,654	0,458	0,723	0,681
Широківський	0,754	0,453	0,675	0,613	0,39
Юр'ївський	0,686	0,430	0,234	0,563	0,2

За формулою (7) було розраховано коефіцієнт конкордації, який визначає ступінь узгодженості оцінок експертів, значення якого $K_h^t = 0,82$ свідчить про те, що достовірність оцінювання є адекватною.

За допомогою fuzzyTECH 6.02, який спеціалізується на нечіткому моделюванні, була сформована єдина система нечіткого виводу. Для кожної вхідної змінної були визначені такі термножини, які задаються відповідними функціями належності:

- рівень екологічного забруднення: $ecology = \{negative; zero; positive\}$;
- рівень розвитку системи охорони здоров'я: $social = \{small; medium; large\}$;
- рівень розвитку культури: $culture = \{low; medium; high\}$;
- рівень соціальної безпеки: $security = \{low; medium; high\}$;
- рівень якості послуг у сфері соціального обслуговування: $service = \{decrease; steady; increase\}$.

Згідно з послідовністю етапів оцінки та аналізу (8) – (12) застосовуємо систему нечіткого виводу. Для отримання кількісного значення δ^{tr} вихідної змінної ESC^{tr} , якій відповідає лінгвістично заданий терм з множини: $ESC^{tr} = \{effective, medium-effective, non-effective\}$, що вказує на ефективність проведення соціальної політики, задаються конкретні значення вхідних показників (рівень екологічного забруднення, рівень розвитку системи охорони здоров'я, рівень розвитку культури, рівень соціальної безпеки та рівень якості послуг у сфері соціального обслуговування) і застосовується система нечіткого висновку.

Кількісна шкала оцінювання ефективності соціальної політики δ^{tr} має вигляд: від 0 до 0,35 – соціальна політика неефективна, від 0,35 до 0,6 – помірно ефективна, від 0,6 до 1 – соціальна політика ефективна.

На рис. 2 – 4 наведено функції належності та відкладені на них реальні значення вхідних змінних $y_h, h = 1, \tilde{H}$, та результуючої змінної ESC^{tr} для трьох районів Дніпропетровської області. Для наглядного прикладу було обрано райони, які входять до різних груп розвитку – це Петриківський, Синельниківський і Покровський.

Отримане за допомогою правил нечіткого висновку значення ефективності проведення соціальної політики для Петриківського

району наведено на рис. 2 і дорівнює 0,7148, отже соціальну політику можна вважати ефективною. Хоча даний район не є лідером за економічними показниками, проте він займає одне з перших місць серед районів за рівнем життя населення. Перш за все це пов'язане з відсутністю промислових об'єктів на території району, що позитивно впливає на екологію та соціально-демографічні процеси. Кількість бібліотек, освітніх закладів і медичних установ створюють гарні передумови для розвитку культурної освіченості населення даного району і підвищення рівня якості послуг у сфері соціального обслуговування.

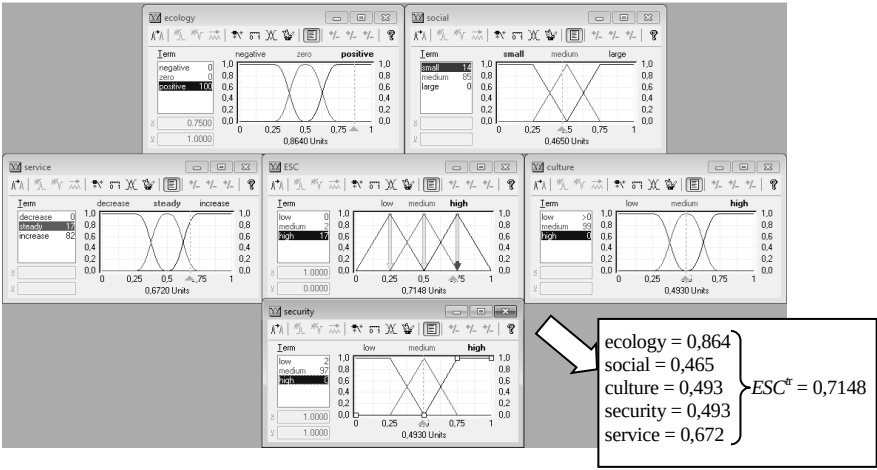


Рис. 2. Функції належності для якісних характеристик Петрівського району за 2015 рік

Отримане на основі правил нечіткого висновку значення ефективності проведення соціальної політики для Синельниківського району наведено на рис. 3 і дорівнює 0,2736, що вказує на неефективність соціальної політики. Дані результати свідчать про те, що незважаючи на лідерство Синельниківського району за економічними показниками, проблемам екології та ситуації у сфері охорони здоров'я тут приділяють недостатньо уваги. Запроваджені ініціативи або не виконуються, або не є ефективними. Стає зрозумілим, що такі значення за показниками рівня життя є загрозливими і тому потребують посиленого регулювання з боку органів державної влади.

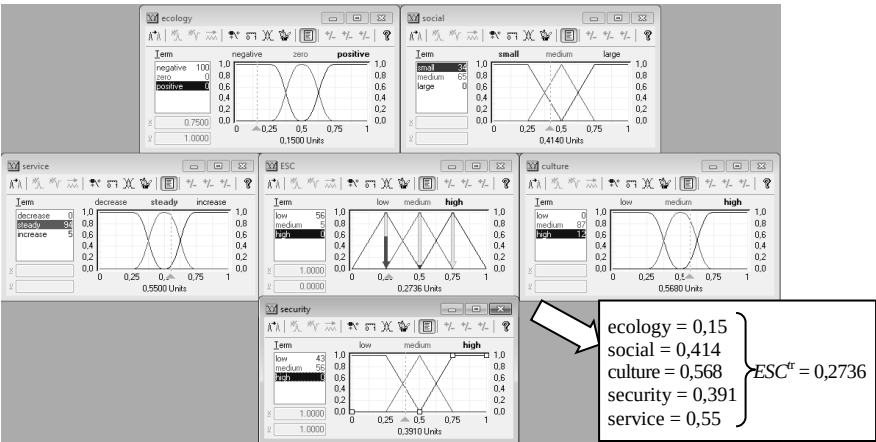


Рис. 3. Функції належності для якісних характеристик Синельниківського району за 2015 рік

Процедуру розрахунку ефективності проведення соціальної політики для Покровського району графічно відображено на рис. 4, рівень якої складає 0,4899. Отже, соціальну політику можна вважати помірно ефективною. Даний район входить до класу середньо розвинених районів за доходними показниками та за рівнем соціальної політики. Це свідчить про стабільний і рівномірний розвиток району в обох напрямках.

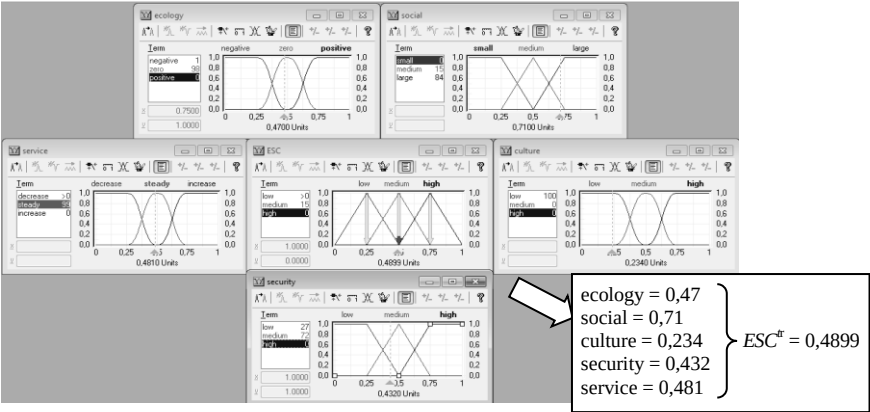


Рис. 4. Функції належності для якісних характеристик Покровського району за 2015 рік

Аналогічні розрахунки проведені за допомогою нечіткого моделювання для інших районів Дніпропетровської області з 2006 по 2015 роки, які дозволили порівняти райони між собою та зробити висновок про ефективність проведення соціальної політики у регіоні в цілому. Результати розрахунків для 2015 року наведено на рис. 5, за яким можна зробити висновок, що в більшості районів у цьому році рівень соціальної політики був помірно-ефективним.

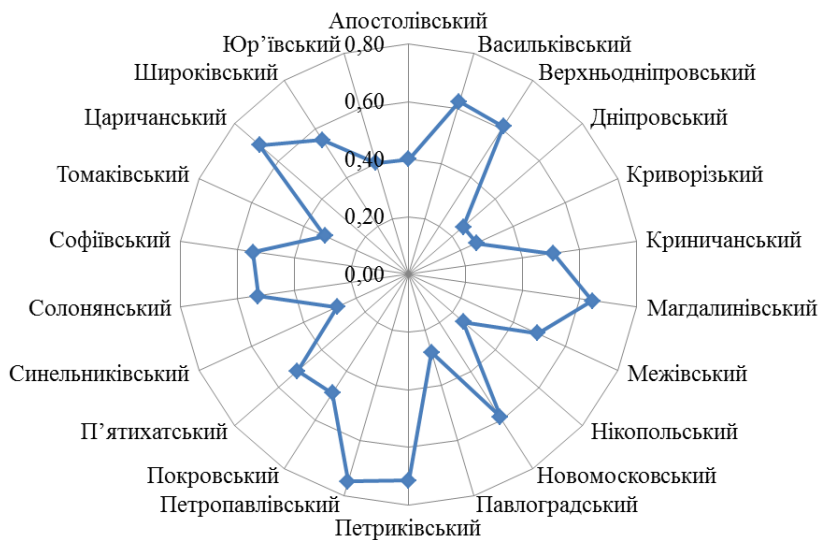


Рис. 5. Інтегральний показник рівня ефективності соціальної політики в районах Дніпропетровської області за 2015 рік

Отриманий інтегральний показник рівня розвитку соціальної політики δ^{tr} , заноситься до матриці $\bar{E} = \{\bar{e}_h^{tr}\}$ за правилом $\bar{E} = \{\hat{e}_1^{tr}, \dots, \hat{e}_H^{tr}, \delta^{tr}\}$, $t = \overline{1, T}$; $r = \overline{1, R}$.

Таким чином, до матриці інформативних кількісних показників $\bar{E} = \{\bar{e}_h^{tr}\}$; $t = \overline{1, T}$; $h = \overline{1, \hat{H}}$; $r = \overline{1, R}$; $\hat{H} = H + 1$, де $\hat{H} = 22$ – кількість показників (сумарно вхідних і вихідного), $T = 10$ – кількість пері-

одів, що оцінюються, $R = 22$ – кількість районів Дніпропетровської області, входять такі групи показників:

демографічно-міграційні:

$\bar{e}_1^{tr}$ – населення r -го району Дніпропетровської області;

$\bar{e}_2^{tr}$ – кількість народжених у r -му районі;

$\bar{e}_3^{tr}$ – кількість померлих у r -му районі;

$\bar{e}_4^{tr}$ – зовнішня міграція в r -му районі;

$\bar{e}_5^{tr}$ – внутрішня міграція в r -му районі;

$\bar{e}_6^{tr}$ – міське населення в r -му районі;

$\bar{e}_7^{tr}$ – сільське населення в r -му районі;

економічні:

$\bar{e}_8^{tr}$ – іноземні інвестиції в r -ий район;

$\bar{e}_9^{tr}$ – експорт із r -го району;

$\bar{e}_{10}^{tr}$ – імпорт у r -ий район;

$\bar{e}_{11}^{tr}$ – валовий районний продукт у r -му районі;

$\bar{e}_{12}^{tr}$ – доходи населення в r -му районі;

$\bar{e}_{13}^{tr}$ – витрати населення в r -му районі;

$\bar{e}_{14}^{tr}$ – кількість безробітних у r -му районі;

$\bar{e}_{15}^{tr}$ – кількість зайнятих у r -му районі;

промислові:

$\bar{e}_{16}^{tr}$ – добувна промисловість в r -му районі;

$\bar{e}_{17}^{tr}$ – переробна промисловість в r -му районі;

$\bar{e}_{18}^{tr}$ – виробництво та розподіл електроенергії, газу та води в r -му районі;

аграрні:

$\bar{e}_{19}^{tr}$ – рослинництво в r -му районі;

$\bar{e}_{20}^{tr}$ – тваринництво в r -му районі;

$\bar{e}_{21}^{tr}$ – харчова промисловість у r -му районі;

соціальний:

$\bar{e}_{22}^{tr} = \delta^{tr}$ – інтегральний показник рівня ефективності соціальної політики в r -му районі.

Для проведення кластеризації районів за формулами (13) – (15) було застосовано програмний пакет ViscoverySOMine6, за допомогою якого для періоду часу $T = 10$ років (з 2006 року по 2015 рік) з матриці вхідних даних сформовано карту, яку для кращої візуалізації та аналізу було розбито на T карт.

Проведемо спочатку кластеризацію районів для отримання однорідних груп за фінансово-економічними показниками (тобто без урахування $\bar{e}_{22}^{tr}$ – інтегрального показника рівня ефективності соціальної політики). З цією метою виділимо три класи районів: високо розвинені, середньо розвинені та нерозвинені. Розглянемо на рис. 6, як змінювалось на картах Кохонена положення районів протягом 2006–2015 рр.



а) 2006 рік

б) 2007 рік

в) 2008 рік

г) 2009 рік



д) 2010 рік

е) 2011 рік

ж) 2012 рік

з) 2013 рік

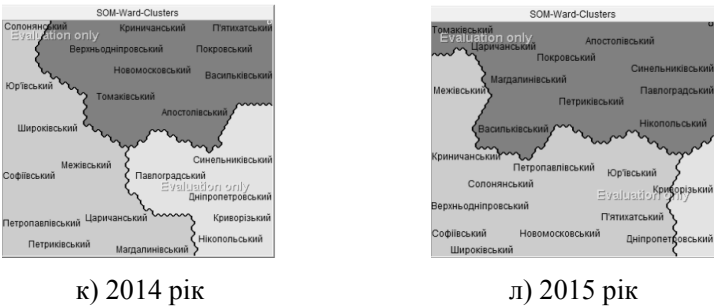


Рис. 6. Карти Кохонена за фінансово-економічними показниками районів Дніпропетровської області

На рис. 6 різними відтінками сірого кольору виділені відповідні класи районів:

- клас S_1 (нерозвинені райони);
- клас S_2 (середньо розвинені райони);
- клас S_3 (високо розвинені райони).

На рис. 7 наведено процентне співвідношення представництва районів між класами S_1 , S_2 , S_3 .

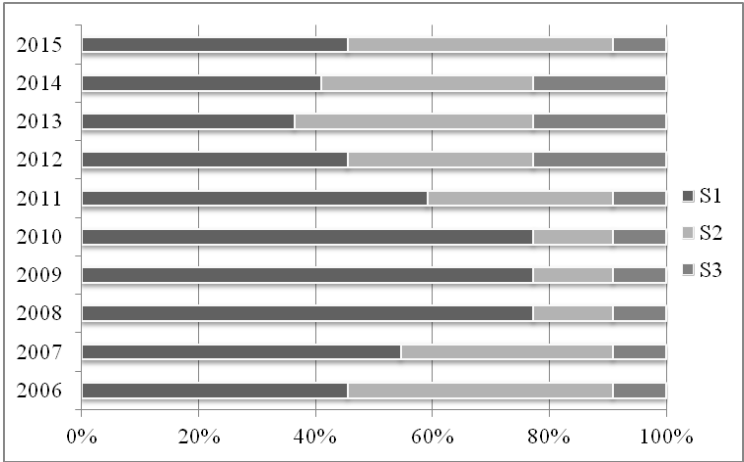


Рис. 7. Процентне співвідношення між класами S_1 , S_2 , S_3

Результати візуального аналізу фінансово-економічних показників, які наведено на рис. 7, свідчать, що Дніпропетровський регіон відноситься до категорії областей, які вразливі до впливу глобальної кризи. Так, криза 2008 року в Дніпропетровській області набула обвального характеру і падіння економіки було глибоким, що чітко демонструє порівняння відсоткового співвідношення між найбільш розвиненими та нерозвиненими районами. Протягом 2008–2010 рр. процент нерозвинених районів становив 77,27 %, тоді як у докризовому 2007 році цей процент складав лише 54,55 %, а у 2006 році і того менше – 45,45 %.

Це перш за все пов'язано з тим, що Дніпропетровський регіон має експортну орієнтацію і саме зростаючий попит світових ринків на продукцію, яка виробляється в області підтримував стійкість розвитку серед районів. Під час глобальної економічної кризи 2008 року найглибший спад спостерігався саме в експортних галузях української економіки, тому не дивно, що саме в цей період вразливість економіки Дніпропетровського краю була найбільшою. Починаючи з 2011 року процент нерозвинених районів скоротився до 59,09 %, порівнюючи з кризовим періодом, а у 2013 році досягнув свого мінімуму 36,36 %. Однак, політична ситуація, яка склалася в країні у 2014–2015 рр., стала підґрунтям до зниження економічного потенціалу регіону, що спричинило поетапне збільшення кількості нерозвинених районів. У 2015 році цей показник становив 45,45 %.

Зауважимо, що у програмному пакеті ViscoverySOMine6 карти Кохонена будуються таким чином, що кожному району на карті відповідає певна сукупність точок (рис. 8 і 9), аналізуючи розміщення яких можна зробити висновки щодо розташування районів у динаміці, яка супроводжується зміною економічних показників.

Розглянемо детальніше, як змінювалося положення Синельниківського (рис. 8) та Павлоградського (рис. 9) районів відносно інших за фінансово-економічними показниками.

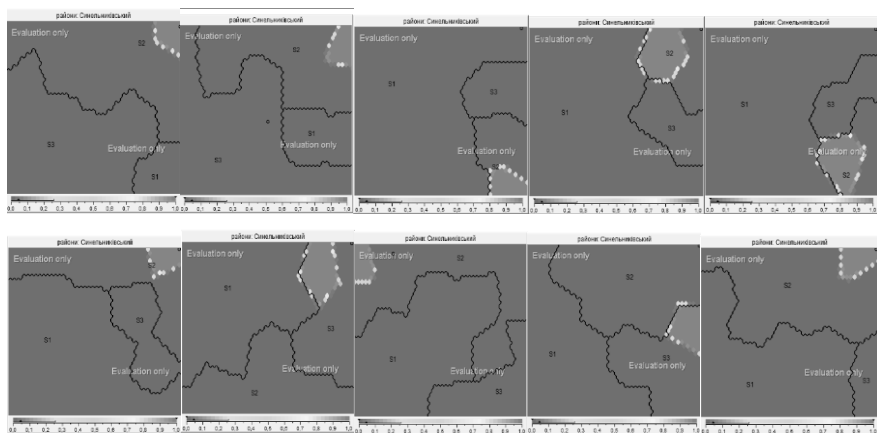


Рис. 8. Карти Кохонена за фінансово-економічними показниками Синельниківського району за 2006–2015 рр.

У 2006 році Синельниківський район займав одне з центральних місць з-поміж середньо розвинених районів, але з 2007 року його позиції почали падати, так що в 2008–2009 рр. він займав останні позиції серед районів із класу S_2 . Як видно з рис. 8, у ці роки район граничить з класом S_1 , до якого входять нерозвинені райони (тобто, спостерігалися тенденції до зниження розвитку району за доходними показниками). Але завдяки вдало проведеним антикризовим заходам уже на початку 2011 року ситуація стабілізувалася, що стало передумовою для того, щоб район у 2012 році потрапив до класу S_3 – високо розвинених районів. У 2013 році район зайняв одне з центральних місць серед класу S_2 – середньо розвинених районів, а у 2014 році знову повернувся до класу S_3 – високо розвинених районів. Проте нестабільна економічна ситуація в країні стала передумовою того, що району не вдалося втримати лідируючі позиції та у 2015 році він знову опустився до класу S_2 – середньо розвинених районів.

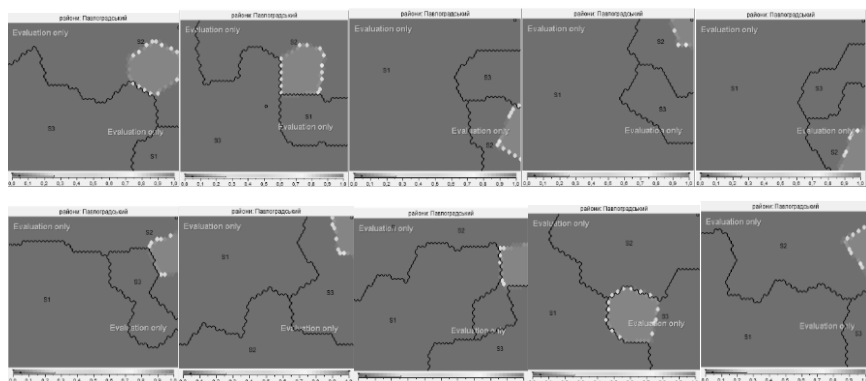


Рис. 9. Карті Кохонена за фінансово-економічними показниками Павлоградського району за 2006–2015 рр.

Павлоградський район є лідером серед хімічної галузі та спеціалізується на видобуванні коксового вугілля. Даний район робить основний внесок в український експорт серед зазначених галузей. На глибину падіння виробництва у хімічній промисловості вплинули погіршення кон'юнктури на зовнішніх ринках і різке зростання цін на імпортований газ, який є основною сировиною для галузі. Вугільна ж промисловість відноситься до традиційно збиткових галузей, які постійно підтримуються державою. Криза, яка мала наслідком зниження попиту на обидва види вугілля – коксівне й енергетичне, спричинила різке падіння обсягів виробництва у Павлоградському районі. Шахти призупиняли видобуток, склади були перевантажені вугільними запасами.

Усі зазначені фактори вплинули на розташування району на карті Кохонена, що можна бачити на рис. 9 (район завжди займав центральні позиції серед усіх класів). Так, починаючи з 2006 року, він був серед лідерів у класі S_2 – середньо розвинених районів, у 2007 році він посилив свої позиції і став наближатися до класу S_3 – високо розвинених районів, а у 2008 році уже знаходився на границі з ним.

Але криза 2008 року віддалила район від попадання до класу S_3 . Для подолання кризової ситуації було запроваджено ряд заходів, які вивели б район на докризовий рівень. Серед них можна зазначити заходи зі стимулювання попиту на мінеральні добрива з боку українських сільгоспвиробників, масована закупівля добрив у державний резерв. Така масштабна підтримка забезпечила хімічній промисловості одні з найвищих серед промислових галузей темпів відновлення виробництва. Тому в 2012 році район стає лідером у класі S_3 – високо розвинених районів. Аналізуючи місце району в 2013 році, можна зробити висновок, що відбулося падіння обсягів виробництва по основних галузях. Хоча у 2014 році район потрапив до класу S_3 – високо розвинених районів, але він зайняв місце, яке знаходиться на границі з класом S_1 – нерозвинених районів. Це стало передумовою того, що у 2015 році він закріпився у класі S_2 – середньо розвинених районів.

Незважаючи на складну економічну кон'юнктуру, економіка Дніпропетровського регіону витримала і за обмеженої зовнішньої допомоги почала швидше за інші регіони самостійно виходити з кризи. Як видно з рис. 7, у 2013 році розподіл районів за класами ефективності став навіть кращим, ніж у докризовий час. Процент високо розвинених районів склав 22,73 %, а середньо розвинених – 40,91 %, тобто частка нерозвинених районів стала менше половини. Політичні та економічні негаразди 2013–2014 рр. мали негативний вплив на розподіл районів. У 2015 році процент високо розвинених районів становив лише 9,1 %, середньо розвинених – 45,45 %, нерозвинених – 45,45 %. Хоча відсоток нерозвинених районів не перевищує 50 %, однак така ситуація в регіоні свідчить про те, що в ньому відбувся спад у виробничій і фінансовій сфері. Розвиненіші райони втрачають свої позиції та наближаються до менш розвинених.

Проаналізуємо, як зміниться розташування районів при врахуванні $\bar{e}_{22}^{tr}$ – інтегрального показника рівня ефективності соціальної політики. На рис. 10 наведено карти Кохонена за фінан-

сово-економічними та соціальними показниками розвитку з 2006 по 2015 рр.

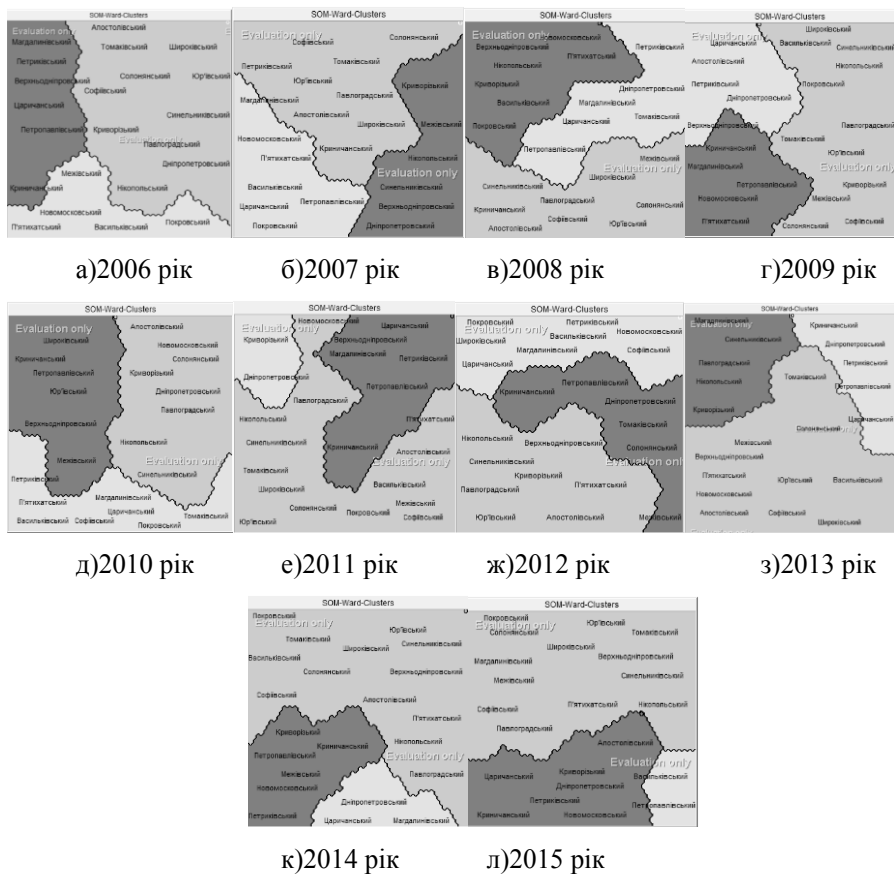


Рис. 10. Карти Кохонена за фінансово-соціальними показниками районів Дніпропетровської області

В результаті аналізу рис. 10 можемо прослідкувати, як змінили своє положення райони на карті Кохонена у порівнянні з розподілом за фінансово-економічними показниками (див. рис. 6). Так, ряд доходних районів, таких як Криворізький, Нікопольсь-

кий, Павлоградський і Синельниківський, перемістилися з верхніх класів до класу S_1 – нерозвинutih районів. У свою чергу менш розвинені райони по доходним показникам, такі як Царичанський, Петриківський, Верхньодніпровський, перемістилися до класу S_3 – високо розвинених районів. Це свідчить про важливість соціальної політики при формуванні стратегій розвитку регіону, врахування якої дозволить забезпечити регіону збалансоване зростання у всіх галузях.

Порівняння карт Кохонена на рис. 6 і рис. 10 підтверджують факт, що соціальна політика у Дніпропетровській області перебуває у стані динамічного, але незбалансованого розвитку, що дозволяє задовольняти соціальні потреби мешканців регіону на мінімальному рівні. Так, обсяг соціальних видатків на одного жителя в регіоні є найнижчим серед великих промислових регіонів України, при тому, що показники економічного зростання, навпаки, займають найвищі рейтингові позиції. Усе це приводить до висновку, що першочерговим завданням для органів регіональної влади та місцевого самоврядування має бути реалізація заходів, які пов'язані з покращенням рівня та якості життя населення.

Висновки

У статті розроблено методологічний підхід до оцінювання рівня ефективності соціальної політики в районах на основі як кількісних фінансово-економічних, так і якісних соціальних показників, а також проведення порівняльного аналізу районів у регіоні. Розроблений підхід базується на поєднанні різноманітних математичних інструментів аналізу характеристик діяльності регіону, зокрема карт Кохонена, теорії нечіткої логіки та експертних методів.

Побудована в рамках запропонованого методологічного підходу комплексна економіко-математична модель дозволяє проаналізувати динаміку зміни регіонального простору.

Апробація запропонованого методологічного підходу була проведена із застосуванням реальних даних щодо районів Дніпропетровської області з 2006–2015 рр. Отримані результати засвідчили високу адекватність запропонованого підходу та розроблених економіко-математичних моделей.

Література

1. *Богуславська С. І.* Соціальна політика в умовах ринкових відносин [Електронний ресурс] / С. І. Богуславська, Л. В. Потапенко // Фінансовий простір. – 2013. – № 2. – С. 106–110. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Fin_pr_2013_2_14.pdf.
2. *Варналій З. С.* Регіони України: проблеми та пріоритети соціально-економічного розвитку: монографія / З. С. Варналій, А. І. Мокій, О. Ф. Новікова, С. А. Романюк, В. І. Чужиков та ін.; за ред. З. С. Варналія. – К. : Знання України, 2005. – 498 с.
3. *Захаров М. А.* Региональная социальная политика в условиях административной реформы [Электронный ресурс] / М. А. Захаров // Известия ВУЗов. Поволжский регион. Общественные науки. – 2007. – № 3. – С. 24–29. – Режим доступу: <https://cyberleninka.ru/article/n/regionalnaya-sotsialnaya-politika-v-usloviyah-administrativnoy-reformy>.
4. *Реутов В. Є.* Закономірності і парадигми регіонального розвитку [Електронний ресурс] / В. Є. Реутов // Ефективна економіка : електронне наукове фахове видання. – 2010. – № 9. – С. 118–123. – Режим доступу: <http://www.economy.nauka.com.ua/?op=1&z=319>.
5. *Бешелев С. Д.* Математико-статистические методы экспертных оценок / С. Д. Бешелев, Ф. Г. Гурвич. – М. : Статистика, 1980. – 263 с.
6. *Гофман О. Г.* Экспертное оценивание : учеб. пособие / О. Г. Гофман. – Воронеж : Воронеж. гос. ун-т, 1991. – 152 с.
7. *Литвак Б. Г.* Экспертные оценки и принятие решений / Б. Г. Литвак. – М.: Патент, 1996. – 298 с.
8. *Zadeh L.* Fuzzy Sets // Information and Control. – 1965. – № 8. – P. 338–353.
9. *Вітлінський В. В.* Математичні моделі та методи ринкової економіки: навч. посіб. / В. В. Вітлінський, О. В. Піскунова. – К.: КНЕУ, 2010.— 531 с.
10. *Kovalchuk K. F.* Intelligent Decision Support System // Proc. First Asian Fuzzy Systems Symposium (Singapore, November 23–26). – 1993. – P. 510–516.

11. *Матвійчук А. В.* Штучний інтелект в економіці: нейронні мережі нечітка логіка: монографія / А. В. Матвійчук. – К.: КНЕУ, 2011. — 439 с.
12. *Тинякова В. И.* Математические методы обработки экспертной информации / В. И. Тинякова. – Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-т, 2006. — 68 с.
13. *Ольховська О. Л.* Економіко-математична модель діагностики банкрутства страхової компанії на основі нечіткої логіки / О. Л. Ольховська // Моделювання та інформаційні системи в економіці. — К.: КНЕУ, 2010. — № 81. — С. 59–74.
14. *Mamdani E. H.* Advances in the Linguistic Synthesis of Fuzzy Controller / E. H. Mamdani // International Journal Man-Machine Studies. — 1976. — Vol. 8. — P. 669–678.
15. *Шарапов О. Д.* Оцінювання можливого банкрутства на основі індикаторів фінансового стану кампаній з використанням нейронних мереж зустрічного розповсюдження / О. Д. Шарапов, Д. Б. Кайданович // Нейро-нечіткі технології моделювання в економіці. — 2012. — № 1. — С. 207–227.
16. *Shtovba S.* Prediction of Competitive Position of Brand Product by Fuzzy Knowledge Base / S. Shtovba, O. Shtovba // Journal of Automation and Information Sciences. — 2006. — № 8. — P. 69–80.
17. *Макшишко Н. К.* Оцінювання системних характеристик економічної динаміки на базі результатів комплексного фрактального аналізу / Н. К. Макшишко // Вісник Запорізького національного університету: зб. наук. праць. Економічні науки. — 2011. — № 2 (10). — С. 119–130.
18. *Kohonen T.* Self-organization and associative memory / T. Kohonen. — Springer–Verlag, 1989. — 312 p.

References

1. Boguslavskaya, S. I., & Potapenko, L. V. (2013). Sotsialna politika v umovah rinkovih vidnosin. *Finansoviy prostir (Financial space)*, 2, 106–110. Retrieved from: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Fin_pr_2013_2_14.pdf [in Ukrainian].
2. Varnalyy, Z. S. (2005). *Regioni Ukrayini: problemi ta prioriteti sotsialno-ekonomichnogo rozvitku*. Kyiv, Ukraine: Znannya Ukrayiny [in Ukrainian].

3. Zaharov, M. A. (2007). Regionalnaya sotsialnaya politika v usloviyah administrativnoy reformyi. *Izvestiya VUZov. Povolzhskiy region. Obschestvennyye nauki (Proceedings of the universities. Volga region. Social sciences)*, 3, 24–29. Retrieved from: <https://cyberleninka.ru/article/n/regionalnaya-sotsialnaya-politika-v-usloviyah-administrativnoy-reformy> [in Russian].
4. Reutov, V. E. (2010). Zakonomirnosti i paradigmi regionalnogo rozvitku. *Efektivna ekonomika: elektronne naukovе fahove vidannya (Effective economy: electronic scientific professional edition)*, 9, 118–123. Retrieved from: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=319> [in Ukrainian].
5. Beshelev, S. D., & Gurvich, F. G. (1980). *Matematiko-statisticheskie metodyi ekspertnyih otsenok*. Moscow, Russia: Statistika [in Russian].
6. Gofman, O. G. (1991). *Ekspertnoe otsenivanie*. Voronezh, Russia: Voronezh. gos. un-t [in Russian].
7. Litvak, B. G. (1996). *Ekspertnyie otsenki i prinyatie resheniy*. Moscow, Russia: Patent [in Russian].
8. Zadeh, L. (1965). Fuzzy Sets. *Information and Control*, 8, 338–353.
9. Vitlins'kyy, V. V., & Piskunova, O. V. (2010). *Matematichni modeli ta metodi rinkovoyi ekonomiki*. Kyiv, Ukraine: KNEU [in Ukrainian].
10. Kovalchuk, K. F. (1993, November 23–26). Intelligent Decision Support System. *Proc. First Asian Fuzzy Systems Symposium (Singapore)*, 510–516.
11. Matviychuk, A. V. (2011). *Shtuchniy Intel'ekt v ekonomitsi: neyronni merezhi nechitka logika*. Kyiv, Ukraine: KNEU [in Ukrainian].
12. Tinyakova, V. I. (2006). *Matematichskie metodyi obrabotki ekspertnoy informatsii*. Voronezh : Izd-vo Voronezh. gos. un-t [in Russian].
13. Olhovska, O. L. (2010). Ekonomiko–matematichna model diagnostiki bankrutstva strahovoyi kompaniyi na osnovi nechitkoyi logiki. *Modelyuvannya ta informatsiyni sistemi v ekonomitsi (Modeling and Information Systems in Economics)*, 81, 59–74 [in Ukrainian].
14. Mamdani, E. H. (1976). Advances in the Linguistic Synthesis of Fuzzy Controller. *International Journal Man-Machine Studies*, 8, 669–678.
15. Sharapov, O. D., & Kaidanovich, D. B. (2012). Otsinyuvannya mozhlivogo bankrutstva na osnovi indikatoriv flnansovogo stanu kampaniy z vikoristannyam neyronnih merezh zustrichnogo rozpovsyudzhennya. *Neyro–nechitki tehnologiyi modelyuvannya v ekonomitsi (Neuro-fuzzy modeling techniques in economics)*, 1, 207–227 [in Ukrainian].

16. Shtovba, S., & Shtovba, O. (2006). Prediction of Competitive Position of Brand Product by Fuzzy Knowledge Base. *Journal of Automation and Information Sciences*, 8, 69–80.

17. Maksishko, N. K. (2011). Otsinyuvannya sistemnih harakteristik ekonomichnoyi dinamiki na bazi rezultativ kompleksnogo fraktalnogo analizu. *Visnik Zaporizkogo natsionalnogo universitetu. Ekonomichni nauki (Bulletin of the Zaporizhzhya National University. Economic Sciences)*, 2(10), 119–130 [in Ukrainian].

18. Kohonen, T. (1989). *Self-organization and associative memory*. New-York: Springer-Verlag.

Стаття надійшла до редакції 5.05.2017.