

МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНИХ СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИХ СИСТЕМ

УДК 330.142.4+519.766.2(075)

М. Ю. Паршина

аспірант
Придніпровська державна академія будівництва та архітектури

МОДЕЛЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ПОТЕНЦІАЛУ РЕГІОНУ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

Запропоновано використання методу нечіткої логіки для моделювання ефективності використання потенціалу регіону. Розроблено концептуальний підхід до нечіткого моделювання ефективності використання потенціалу регіону. Здійснено формування нечітких лінгвістичних змінних, визначено діапазони їх змін з урахуванням зазначених рівнів. Здійснено побудову імітаційної моделі з наданням функцій належності лінгвістичних змінних. Записано базу логічних правил для формування комплексного показника ефективності використання потенціалу регіону. Отримано результати нечіткого моделювання за умов зміни різних змінних, що дає змогу сформулювати основу прийняття рішень з підвищення рівня ефективності використання потенціалу регіону.

Ключові слова: потенціал регіону, ефективність використання, моделювання, нечітка логіка.

I. Вступ

Питання регіонального розвитку в сучасних умовах економічної глобалізації набувають особливого значення. Значну кількість сучасних наукових робіт українських і зарубіжних вчених присвячено проблемі оцінювання, формування та управління потенціалом економічних систем різних рівнів.

Однак результати проведених досліджень свідчать про відсутність наукових робіт, у яких питання ефективності використання потенціалу регіону розглянуто на системному рівні з використанням сучасних методів обробки економічної інформації та формування на цій основі наукового обґрунтування стратегічних рішень з управління потенціалом та його складових. Вирішення таких питань потребує розробки нових науково-методичних підходів до моделювання ефективності використання потенціалу регіону з використанням сучасних методів обробки неструктурованої та нечіткої інформації, економіко-математичних методів і моделей системної динаміки.

Використання методів та моделей системної динаміки [1; 2] надасть можливість врахувати динамічні зміни зовнішнього середовища, що є актуальним для сучасних умов економічної глобалізації та сформулювати основу обґрунтованого прийняття рішень з підвищення ефективності використання потенціалу регіону.

Зазначимо, що за наявності значної кількості неструктурованої інформації та невизначеності [3], доцільним є запровадження методології нечіткого моделювання [1; 4] – нового на-

прямую використання наукоємних технологій для вирішення практичних задач сучасної економіки.

В основу реалізації методів нечіткого моделювання покладено нечітку логіку [2; 3; 5], яка більш природним засобом описує характер мислення людини порівняно з традиційними формально-логічними системами. Тому саме використання цих методів в умовах нечіткої інформації надає змогу побудувати модель управління ефективністю використання потенціалу регіону, яка найбільш адекватно дасть змогу відобразити різні аспекти невизначеності зовнішнього та внутрішнього середовища.

II. Постановка завдання

Мета статті полягає в розробці концептуального підходу до моделювання ефективності використання потенціалу регіону та проведення досліджень на основі побудови нечітких моделей.

III. Результати

За результатами досліджень ефективності функціонування економічних систем зазначено, що вчені використовують декілька наукових підходів та визначають відповідні кількісні показники [6]. Однак слід зазначити, що при оцінюванні потенціалу та визначенні високого, низького та середнього рівня потенціалу будь-якої економічної системи маємо справу з нечіткою інформацією. Кожна інформація, віднесена до класу точної інформації, за своєю сутністю є також не зовсім точною, оскільки її розрахунки ґрунтуються на статистичній інформації, яка, як відомо [1; 2; 3], також містить деякі неточності.

У зв'язку з цим з метою обробки цієї інформації доцільним є використання апарату нечітких множин, нечіткої логіки та нечіткого моде-

лювання [1; 2, с. 5–21; 3, с. 172–215], що дасть змогу на системному рівні визначити комплексний показник та сформуванню систему обґрунтування управлінських рішень за умов, коли традиційні методи є недостатньо ефективними, або загалом їх використання є недоцільним у разі недостатніх обсягів інформації. Використання теорії нечітких множин, яку засновано американським математиком, професором Каліфорнійського університету Лотфи Заде [2; 3] дає змогу обробити інформацію будь-якого виду та створити основу обґрунтованого прийняття рішень.

Проведені дослідження свідчать, що на сьогодні використання теорії нечітких множин є надзвичайно поширеним явищем при дослідженні складних систем різної природи. Підтвердженням цього є відомі в сучасному світі наукові досягнення в галузі штучного інтелекту з використанням нечітких множин та нейронних мереж, а також відповідне динамічне зростання наукових публікацій [1, с. 19-24]. Значущість концептуальних положень теорії нечітких множин, зазначена та підтримана науковим співтовариством, отримала розвиток та практичну реалізацію різноманітними промисловими компаніями. Відомі також результати досліджень з використанням апарату Fuzzy Logic та апарату Fuzzy Clusters у галузі економіки, зокрема при визначенні рівня економічного розвитку країн та регіонів [7, с. 293-310; 8, с. 52-66].

В основу відомих промислових розробок у галузі штучного інтелекту та при проведенні досліджень з використанням методології нечітких множин покладено нечіткі моделі. Як відомо, під нечіткою моделлю розуміють інформаційно-логічну модель системи, побудовану на основі нечітких множин та нечіткої логіки [4, с. 24].

Враховуючи світовий досвід, вважаємо доцільним використання цієї методології при моделюванні економічних систем. Запровадження концептуальних аспектів теорії нечітких множин та сучасного апарату її реалізації надасть можливість сформуванню нові наукові підходи до проведення досліджень ефективності використання потенціалу регіону та на системному рівні визначити вплив можливих змін у динаміці сформованої системи економічних показників. Ґрунтуючись на сформованій у роботі [6, с. 111–120] системі показників та використовуючи апарат нечітких множин та нечіткої логіки [1; 4; 5], розроблено концептуальний підхід до нечіткого моделювання ефективності використання потенціалу регіону, який поєднує у логічній послідовності п'ять взаємопов'язаних етапів (рис. 1).

Головне призначення першого етапу полягає в логічному осмисленні проблемної ситуації в контексті методології нечіткого моделювання. Метою другого етапу є побудова інформаційної, аналітичної та імітаційної моделей оцінювання ефективності використання потенціалу регіону із запровадженням методів структури-

зації економічної інформації. Структуризація передбачає визначення та подальше уточнення границь кількісних оцінок всіх складових, покладених в основу аналізу ефективності використання потенціалу регіону. Відповідну інформацію доцільно подати у формі моделі з використанням формально-логічної мови. Вся доступна інформація щодо вирішення зазначеної проблеми має бути наданою у вигляді певної інформаційно-логічної моделі.

З метою формування інформаційно-логічної моделі ефективності використання потенціалу регіону були систематизовані групи показників та сформовані такі групи оцінювання ефективності використання потенціалу регіону: оцінювання загального рівня за узагальнюючими показниками; оцінювання за показниками живої праці; оцінювання за показниками здійсненої праці (минулої праці) та оцінювання за показниками інвестиційної діяльності. З метою розрахунку цих показників сформовано інформаційну модель, яка містить найбільш загальну інформацію у вигляді баз даних з економічною інформацією за регіонами України та відображає структурні взаємозв'язки між групами економічних показників. Однак ефективне використання запропонованої системи показників є можливим тільки за умов їх поєднання до відповідної системи, яка дасть змогу отримати системну оцінку ефективності використання потенціалу регіону на основі сформованої аналітичної моделі.

З метою побудови імітаційної моделі, яка безпосередньо реалізує інформаційно-логічну модель у спеціально передбаченій формі для проведення досліджень з використанням комп'ютера здійснено формування нечітких лінгвістичних змінних. Як відомо, лінгвістичною змінною є змінна (яка може бути як вхідною, так і вихідною) з лінгвістичними значеннями, які відображають якісні оцінки [1, с. 27]. В якості вхідних лінгвістичних змінних будемо використовувати такі: комплексний показник живої праці (λ); комплексний показник минулої праці (β) та комплексний показник інвестиційної діяльності (γ). В якості вихідної лінгвістичної змінної отримуємо комплексний показник ефективності використання потенціалу регіону.

Під час оцінювання ефективності використання потенціалу регіону за трьома рівнями, зокрема “низький”, “середній” та “високий” відповідно до теорії нечітких множин, використані три так звані інформаційні гранули [1, с. 14]. З метою проведення більш детальних досліджень вважаємо доцільним ввести чотири або п'ять інформаційних гранул, а саме “дуже низький”, “низький”, “середній”, “високий” і “дуже високий” та підвищити таким чином точність оцінювання. Таким чином, гранульованість інформації будемо визначати за допомогою ширини відповідної гранули.

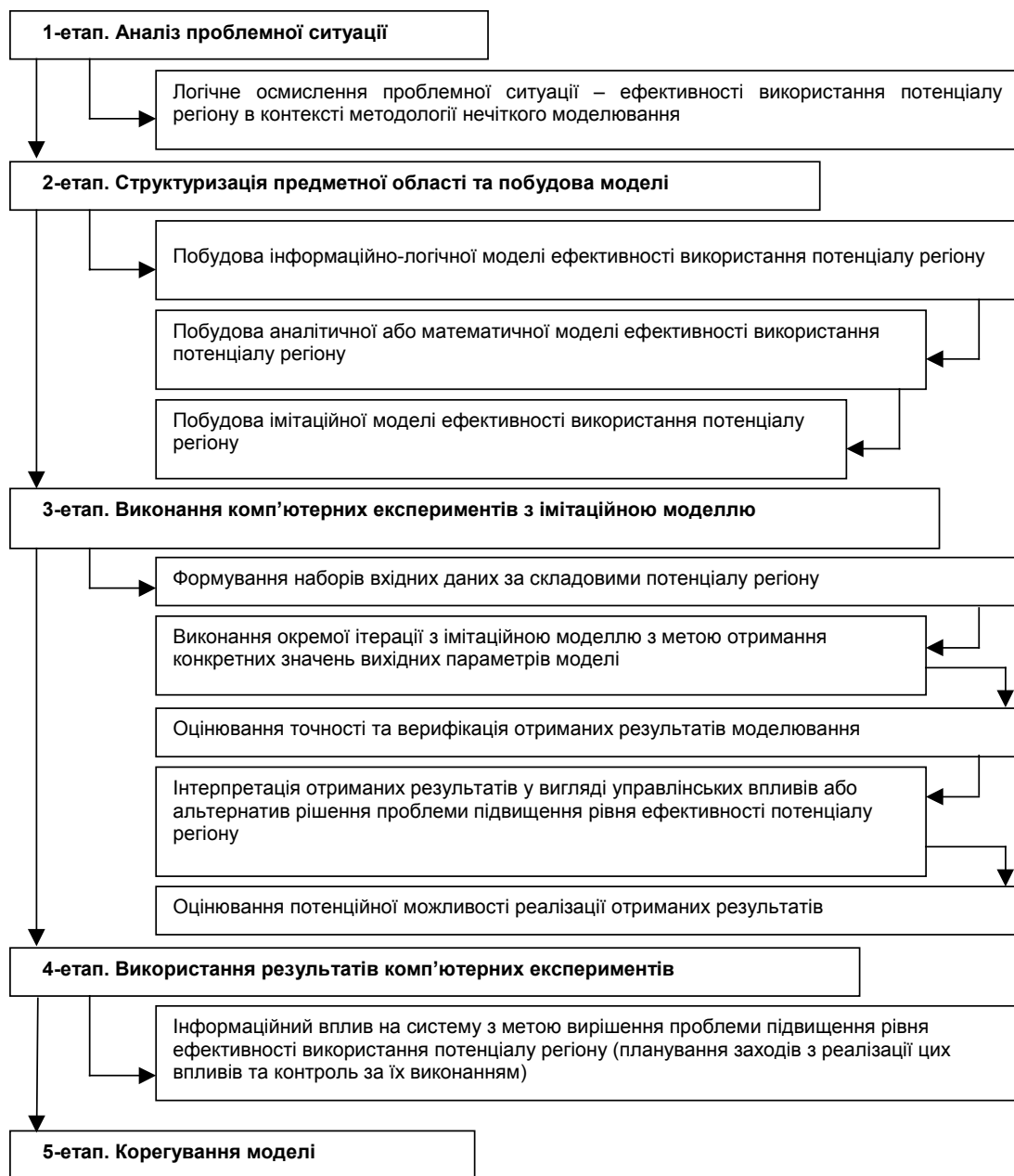


Рис. 1. Концептуальний підхід до нечіткого моделювання ефективності використання потенціалу регіону

Як відомо, з метою визначення лінгвістичної змінної використовується лінгвістична терм-множина [1, с. 29]. В якості терм-множини лінгвістичної змінної λ (множини її значень) використовуємо множину $T1 = \{\text{“низький рівень”}, \text{“середній рівень”}, \text{“високий рівень”}\}$. В якості терм-множини лінгвістичної змінної β використовуємо множину

$T2$ та в якості терм-множини лінгвістичної змінної γ – множину $T3$ з аналогічним виглядом $T2$, $T3 = \{\text{“низький рівень”}, \text{“середній рівень”}, \text{“високий рівень”}\}$. Діапазони змін нечітких множин вхідних лінгвістичних змінних α , β та γ , отримані на основі обробки статистичної інформації [9] надано у табл. 1.

Таблиця 1

Діапазони змін нечітких множин вхідних лінгвістичних змінних

Вхідні лінгвістичні змінні	Рівні та їх діапазони		
	Низький (<i>Low</i>)	Середній (<i>Middle</i>)	Високий (<i>High</i>)
α (LivWork)	0 ÷ 3,2	3 ÷ 5,7	5,5 ÷ 8
β (PastWork)	0 ÷ 0,8	0,65 ÷ 1,4	1,2 ÷ 2
γ (Investments)	0 ÷ 1,1	0,95 ÷ 2,1	1,95 ÷ 3

Слід зазначити, що більш високий ступінь гранульованості інформації може привести до скорочення обсягів інформації, яку потрібно аналізувати, а також до підвищення ступеня

обробки алгоритмів [1, с. 15]. Однак, з метою підвищення точності оцінки вихідного показника – комплексного показника ефективності використання потенціалу регіону, використовуємо

множину з чотирма інформаційними гранулами $T4 = \{\text{“дуже низький рівень”}, \text{“низький рівень”}, \text{“середній рівень”}, \text{“високий рівень”}\}$. Діапазони

змін нечітких множин лінгвістичних змінних вихідного показника ефективності використання потенціалу регіону $IntIndexPot$ надано у табл. 2.

Таблиця 2

Діапазони змін нечіткої множини лінгвістичної змінної вихідного показника

Вихідна лінгвістична змінна (IntIndexPot)	Рівні та їх діапазони			
	Дуже низький (Very Low)	Низький (Low)	Середній (Middle)	Високий (High)
	0 ÷ 2,75	2,5 ÷ 5,6	5,4 ÷ 8,4	8,2 ÷ 11

На основі визначених діапазонів змін нечітких множин надано математичне визначення

лінгвістичних змінних на кожному рівні у табл. 3.

Таблиця 3

Визначення лінгвістичних змінних

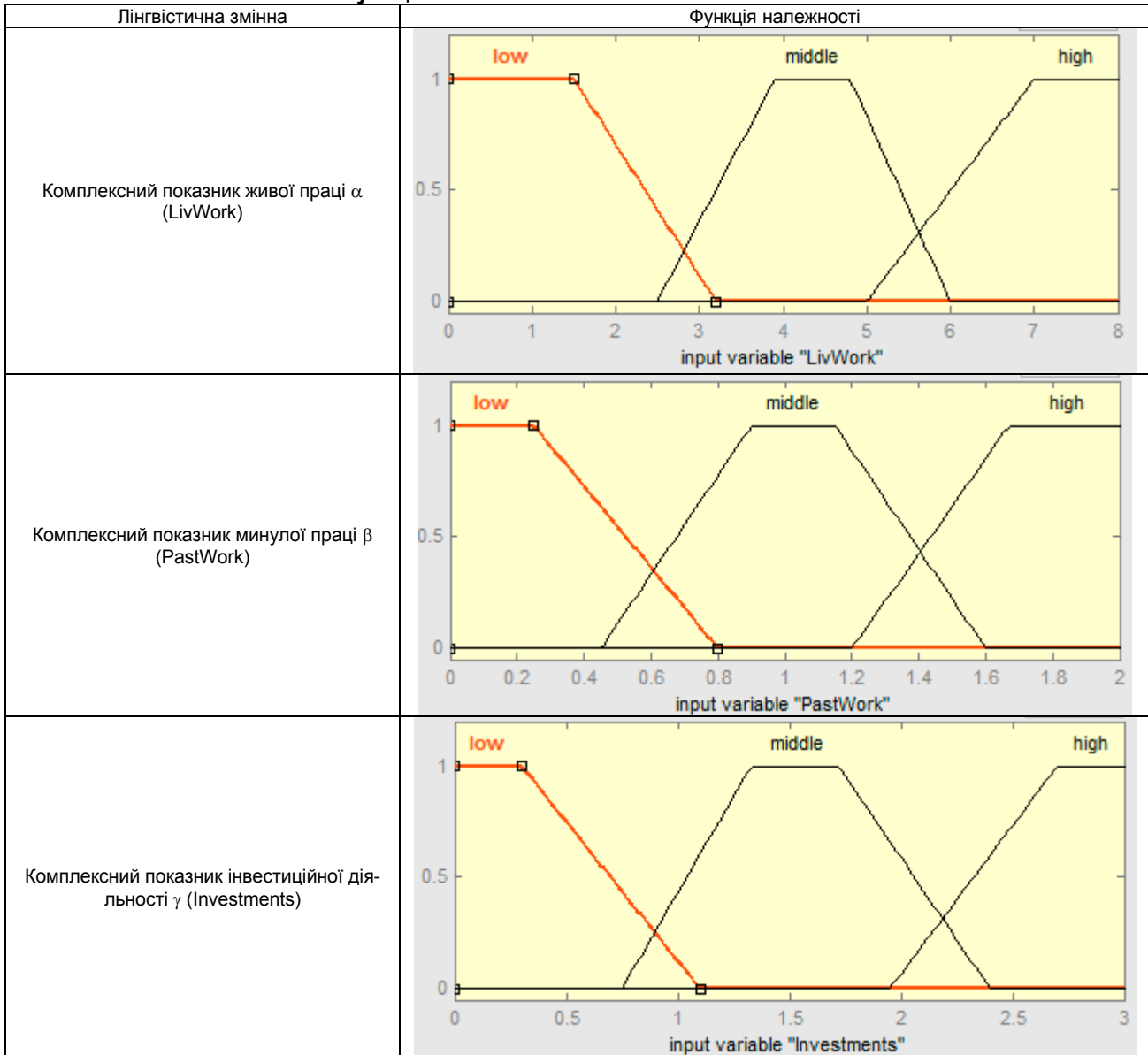
Комплексний показник живої праці α (LivWork)	
Low Middle High	$\left\{ \begin{array}{ll} 1 & x \leq 1.5 \\ \frac{3.2-x}{1.7} & 1.5 \leq x \leq 3.2 \\ 0 & 3.2 \leq x \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{ll} 0 & x \leq 3 \\ \frac{x-2.5}{1.4} & 2.5 \leq x \leq 3.9 \\ 1 & 3.9 \leq x \leq 4.8 \\ \frac{6-x}{1.2} & 4.8 \leq x \leq 6 \\ 0 & 6 \leq x \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{ll} 0 & x \leq 5 \\ \frac{x-5}{2} & 5 \leq x \leq 7 \\ 1 & 7 \leq x \end{array} \right.$
Комплексний показник минулої праці β (PastWork)	
Low Middle High	$\left\{ \begin{array}{ll} 1 & x \leq 0,25 \\ \frac{0,8-x}{0,55} & 0,25 \leq x \leq 0,7 \\ 0 & 0,7 \leq x \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{ll} 0 & x \leq 0,45 \\ \frac{x-0,45}{0,45} & 0,45 \leq x \leq 0,9 \\ 1 & 0,9 \leq x \leq 1,15 \\ \frac{1,6-x}{0,45} & 1,15 \leq x \leq 1,6 \\ 0 & 1,6 \leq x \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{ll} 0 & x \leq 1,2 \\ \frac{x-1,2}{0,47} & 1,2 \leq x \leq 1,67 \\ 1 & 1,67 \leq x \end{array} \right.$
Комплексний показник інвестиційної діяльності γ (Investments)	
Low Middle High	$\left\{ \begin{array}{ll} 1 & x \leq 0,3 \\ \frac{1,1-x}{0,8} & 0,3 \leq x \leq 1,1 \\ 0 & 1,1 \leq x \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{ll} 0 & x \leq 0,75 \\ \frac{x-0,75}{0,58} & 0,75 \leq x \leq 1,33 \\ 1 & 1,33 \leq x \leq 1,72 \\ \frac{2,4-x}{0,68} & 1,72 \leq x \leq 2,4 \\ 0 & 2,4 \leq x \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{ll} 0 & x \leq 1,95 \\ \frac{x-1,95}{0,75} & 1,95 \leq x \leq 2,7 \\ 1 & 2,7 \leq x \end{array} \right.$

На наступному здійснено побудову функцій належності, які, дають змогу зіставити деякі числа з інтервалу $[0, 1]$ у відповідність кожного значення заданої лінгвістичної змінної x [1, с. 31]. У табл. 4 надано функції належності у графічному вигляді, які побудовані у середовищі пакету Fuzzy Logic Toolbox.3 метою отримання комплексного показника ефективності використання потенціалу регіону використано процедуру фазифікації, що перетворює чіткі величини, які виміряні на виході об'єкта керування, у нечіткі величини, що описані лінгвістичними змінними у базі правил [1, с. 179; 5]. Елемент нечіткого виводу використовує нечіткі умовні правила типу “if – then”, які формуються на основі правил для перетворення нечітких вхідних даних у необхідні управлінські впливи, які також носять нечіткий характер. Елемент дефазифікації здійснює перетворення нечітких

даних з виходу елемента нечіткого виводу у чітку величину, яка надалі використовується для прийняття управлінських рішень [1, с. 182; 5].

База правил має важливе значення у формуванні поверхні оклику результуючого показника. У загальному випадку база правил системи нечіткого виводу призначена для формального подання емпіричних знань експертів у тій чи іншій предметній галузі у формі нечітких правил. Таким чином, база нечітких правил системи нечіткого виводу – це система нечітких правил, яка відображає знання експертів про методи управління об'єктом у різних ситуаціях з урахуванням характеру його функціонування у різних умовах, тобто містить таким чином формалізовані знання. Враховуючи думки експертів нами сформовано базу логічних правил для формування комплексного показника ефективності використання потенціалу регіону (табл. 5).

Функції належності лінгвістичних змінних



Таблиця 5

База логічних правил для формування комплексного показника ефективності використання потенціалу регіону

Рівень показника	Логічні правила
Дуже низький (Very Low)	If (LivWork is low) and (PastWork is low) and (Investments is low) then (IntIndexPot is VeryLow)
Низький (Low)	If (LivWork is low) and (PastWork is low) and (Investments is middle) then (IntIndexPot is low) If (LivWork is low) and (PastWork is middle) and (Investments is middle) then (IntIndexPot is low)
Середній (Middle)	If (LivWork is middle) and (PastWork is middle) and (Investments is middle) then (IntIndexPot is middle) If (LivWork is middle) and (PastWork is middle) and (Investments is high) then (IntIndexPot is middle) If (LivWork is high) and (PastWork is middle) and (Investments is middle) then (IntIndexPot is middle)
Високий (High)	If (LivWork is middle) and (PastWork is high) and (Investments is high) then (IntIndexPot is high) If (LivWork is high) and (PastWork is middle) and (Investments is high) then (IntIndexPot is high) If (LivWork is high) and (PastWork is high) and (Investments is high) then (IntIndexPot is high)

Реалізація етапу проведення комп'ютерних експериментів з моделлю в контексті методології нечіткого моделювання передбачає здійснення серії експериментів з моделлю у відповідній послідовності дій. На підставі сформованих баз даних здійснюється формування наборів вхідних даних за окремими складовими потенціалу регіону. На основі математичного ви-

значення лінгвістичних змінних здійснено побудову імітаційної моделі з використанням програми Fuzzy Logic пакету Fuzzy Logic Toolbox. На рівні виконання розрахунків передбачено здійснення окремої ітерації з імітаційною моделлю з метою отримання конкретних значень вихідних параметрів моделі. Оцінювання точності та верифікація отриманих результатів

здійснюється на основі перевірки узгодження окремих компонентів розрахунків з використанням аналітичної моделі. Інтерпретація отриманих результатів надається у вигляді управлінських впливів або альтернатив рішення проблеми з подальшим оцінюванням потенційної можливості реалізації отриманих результатів.

Процес нечіткого моделювання здійснено у середовищі MATLAB з використанням пакету розширення Fuzzy Logic Toolbox [4; 10]. Процес виводу результатуючих значень реалізується на основі найбільш поширеного алгоритму нечіткого виводу – алгоритму Мамдані.

Система MATLAB містить спеціальні засоби нечіткого моделювання та дає змогу виконува-

ти весь комплекс досліджень з розробки та застосування нечітких моделей. Формування лінгвістичних змінних і функцій належності їх термів у графічному режимі, а також візуалізація правил дають змогу суттєво зменшити трудомісткість розробки нечіткої моделі, знизити кількість можливих помилок і скоротити загальний час нечіткого моделювання. В процесі моделювання отримано залежності вихідної змінної від вхідних змінних, підтвердженням якої є вид поверхні відклику. На рис. 2. у графічному вигляді надано функцію належності та результати моделювання комплексного показника ефективності використання потенціалу регіону.

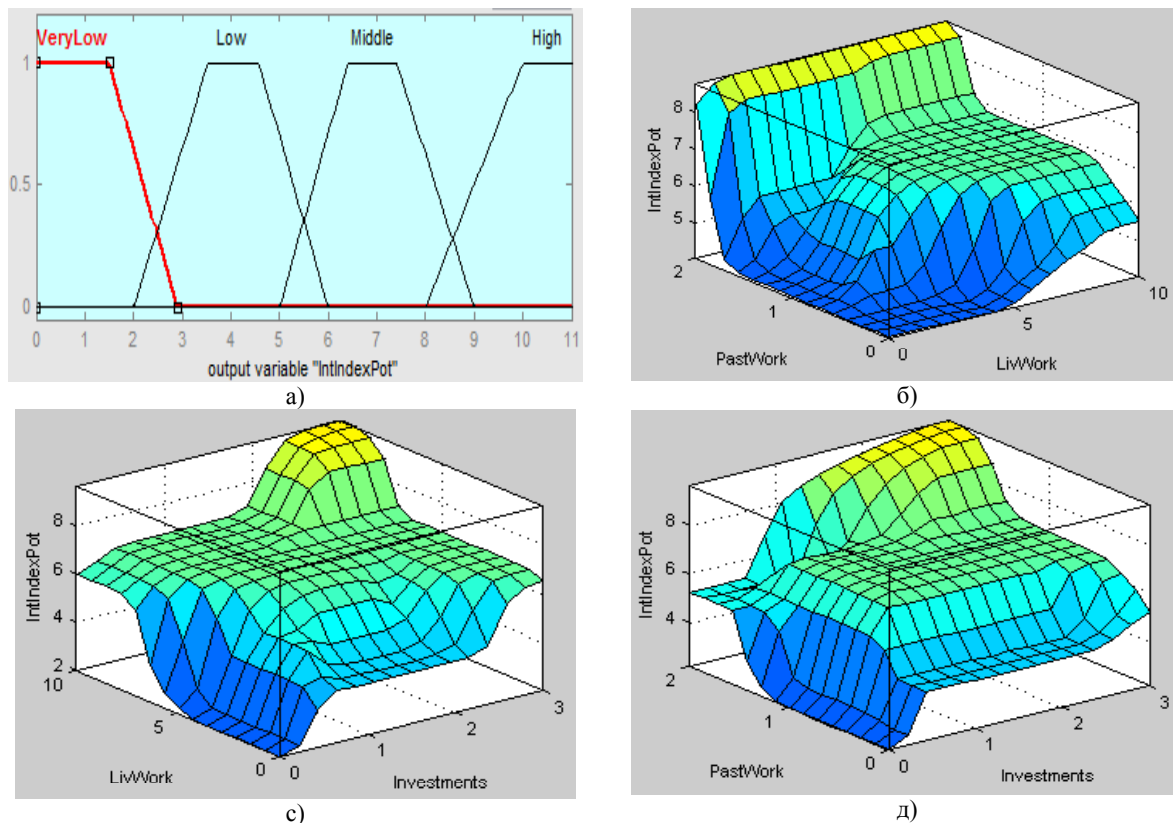


Рис. 2. Функція належності та результати моделювання комплексного показника ефективності використання потенціалу регіону*

*а) функція належності; б) результати моделювання, вхідні змінні – показники живої праці та показники минулої праці; в) результати моделювання, вхідні змінні – показники живої праці та показники інвестиційної діяльності; д) результати моделювання, вхідні змінні – показники минулої праці та показники інвестиційної діяльності.

З метою апробації розробленої моделі та процедури нечіткого моделювання був проведений аналіз результатів нечіткого виводу при різних значеннях вхідних змінних та завдяки використанню аналітичної моделі здійснено перевірку точності.

IV. Висновки

Запропонований підхід доцільно покласти в основу розробки експертних систем стратегічного управління потенціалом регіонів.

Завдяки використанню таких систем мають бути отримані науково обґрунтовані рішення з урахуванням регіональних особливостей та знайдені, таким чином, умови ефективного використання потенціалу регіональних економіч-

них систем. Результати досліджень, отримані внаслідок нечіткого моделювання доцільно покласти в основу стратегічного управління та наукового обґрунтування стратегічних рішень.

Подальші дослідження спрямовані на розробку експертної системи формування управлінських рішень для підвищення ефективності використання потенціалу регіону.

Список використаної літератури

1. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление / А. Пегат ; пер. с англ. – 2-е изд. – Москва : БИНОМ : Лаборатория знаний, 2013. – 798 с.
2. Заде Л. Основы нового подхода к анализу сложных систем и процессов принятия ре-

- шений / Л. Заде // Математика сегодня / пер. с англ. – Москва : Знание, 1974. – Вып. 7. – С. 5–21. – (Новое в жизни, науке, технике. Серия “Математика, кибернетика”).
3. Заде Л. Принятие решений в расплывчатых условиях / Л. Заде // Вопросы анализа и процедуры принятия решений / под ред. И. Ф. Шахнова ; предисл. Г. С. Поспелова. – Москва : Мир, 1976. – С. 172–215.
 4. Леоненков А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А. В. Леоненков. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.
 5. Нечітка логіка. Матеріал з Вікіпедії – вільної енциклопедії [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/>.
 6. Паршина М. Ю. Комплексний підхід до оцінки ефективності використання потенціалу регіону / М. Ю. Паршина // Економічний простір : збірник наукових праць. – Дніпропетровськ : ПДАБА, 2015. – № 95. – С. 111–120.
 7. Stojić G. Using Fuzzy Logic for evaluating the level of countries (regions) economic development / Gordana Stojić // PANOECONOMICUS. – 2012. – № 3. – P. 293–310.
 8. Navitskaya K. Analysis of regional investment position using Fuzzy Clusters / Katsiaryna Navitskaya // Intellectual Economics. – 2014. – Vol. 8. – № 2 (20). – P. 52–65.
 9. Офіційний сайт Державного комітету статистики України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua/>.
 10. Дьяконов В. П. MATLAB 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6. Основы применения / В. П. Дьяконов. – Москва : СОЛОН-Пресс, 2005. – 800 с.

Стаття надійшла до редакції 16.09.2015.

Паршина М. Ю. Моделирование эффективности использования потенциала региона с использованием нечеткой логики

Для моделирования эффективности использования потенциала региона предложен метод нечеткой логики. Разработан концептуальный подход к нечеткому моделированию эффективности использования потенциала региона. Осуществлено формирование нечетких лингвистических переменных, определены диапазоны их изменений с учетом установленных уровней. Разработана имитационная модель с представлением функций принадлежности лингвистических переменных. Для формирования комплексного показателя эффективности использования потенциала региона записана база логических правил. Получены результаты нечеткого моделирования при условиях изменения различных переменных, что позволяет сформировать основу принятия решений по повышению уровня эффективности использования потенциала региона.

Ключевые слова: потенциал региона, эффективность использования, моделирование, нечеткая логика.

Parshina M. Modeling of Efficiency of the Region Potential Use by Fuzzy Logic

The questions of regional development in the modern conditions of economic globalization are of special significance. By conducted researches we show that we do not have advanced studies in which the research questions of efficiency of the region potential use at the system level are considered. We must use new approaches for the work with the unstructured and unclear information.

The use of fuzzy logic method for the modeling of efficiency of the region potential use has been offered. The conceptual approach to the fuzzy modeling of efficiency of the region potential use has been developed.

Approach combines five stages in the logical sequence. The purpose of the first stage is the logical comprehension of problem of efficiency of the region potential use in the context of methodology of unclear modeling. The structure of subject and the construction of simulation model have been carried out on the second stage. The structure of subject foresees determination and clarification of quantitative estimations of all components which are used in the estimation process of efficiency of the region potential use. The third stage forsees the computer experiments implementation with the simulation model. The purpose of the fourth stage is the use of computer experiment results.

The informative influences on the regional system must be certain on this stage for the problem decision of the increase of efficiency level of the region potential use.

Forming of fuzzy linguistic variables has been carried out and the ranges of their changes have been determined taking into account the noted levels. Mathematical determinations of the linguistic variables at every level have been given.

Indices of the living labour, the past labour and the investment performance indicator as entrance linguistic variables have been used. The output linguistic variable is the efficiency complex index of the region potential use.

The construction of simulation model with the membership functions of linguistic variables has been carried out. The base of logical rules for complex index forming of efficiency of the region potential use has been described. The results of the fuzzy modelling at the change terms of different variables have been obtained, that allows to form the basis for decision making in direction of efficiency level increase of the region potential use.

Key words: potential of region, efficiency of the use, modelling, fuzzy logic.