

УДК 330. 46

**Ковальчук В. М.,**

викладач кафедри математичного моделювання та інформаційних технологій в економіці Національного університету “Острозька академія”,

**Мороз О. С.,**

студентка магістратури Національного університету “Острозька академія”

## ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ НЕЧІТКОГО РЕГРЕСІЙНОГО АНАЛІЗУ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ ІННОВАЦІЙНОГО ПРОЦЕСУ

*У роботі обґрунтовано можливість використання нечіткої регресії для моделювання інноваційних процесів. Досліджено сутність поняття “інноваційний процес”, визначено особливості його моделювання та сформувано висновки щодо доцільності використання методу нечіткої регресії для дослідження інновацій.*

**Ключові слова:** регресія, інноваційний процес, нечіткий регресійний аналіз, критерій мінімізації нечіткості.

*В работе обоснована возможность использования нечеткой регрессии для моделирования инновационных процессов. Исследовано суть понятия “инвестиционный процесс”, определены особенности его моделирования, сделаны выводы о целесообразности использования метода нечеткой регрессии при исследовании инноваций.*

**Ключевые слова:** регрессия, инновационный процесс, нечеткий регрессионный анализ, критерий минимизации нечеткости.

*In this article the possibility of using fuzzy regression for modeling innovation process is motivated. Author has studied the essence of concept “innovation process”, defined the particularities of its modeling and made the conclusion how to use fuzzy regression method in research on innovations.*

**Key words:** regression, fuzzy regression analysis, innovation process, fuzzy minimization criteria.

**Постановка проблеми.** Головними рушіями прогресу в сучасному світі все більше стають наука, як основа розробки і впровадження високих технологій проривного характеру, та інновації, як процес і результат їх ефективного просування у виробництво і суспільну практику. Глобальні виклики ХХІ століття і зміни в суспільно-політичному житті України, що відбулися протягом останніх років, гостро поставили питання стосовно необхідності швидкого виходу нашої держави на шлях динамічного ін-

новаційного розвитку, що відкриє можливості поступового переходу до розбудови економіки знань, у якій вітчизняний інтелектуальний і науково-технічний потенціал перетвориться на визначальний чинник економічного і соціального зростання.

Успішність інноваційного розвитку окремих підприємств та держави в цілому багато в чому залежить від точності та правильності здійснення їх кількісного аналізу, який дає змогу спрогнозувати об'єм необхідних фінансових ресурсів для реалізації проектів, їх ефективність та наслідки впровадження. Отже, особливої актуальності набуває вивчення шляхів застосування математичних методів до дослідження інноваційного процесу.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Проблеми, що виникають при дослідженні інноваційних процесів, привертають увагу багатьох зарубіжних та вітчизняних вчених, таких як П. Агійон, І. Ансоф, С. Кузнець, Р. Солоу, Б. Твісс, Р. Форрестер, П. Хоувіт, Й. Шумпетер, В. Александрова, А. Амоші, Ю. Бажал, А. Власова, А. Гальчинський, В. Геєць, Н. Гончарова, В. Гринева тощо. Проте сьогодні низка питань стосовно застосування математичних методів для аналізу та оцінки інноваційних процесів є недослідженою і потребує поглибленого вивчення. Особливого значення набуває доцільність використання при моделюванні інноваційних процесів інтелектуальних технологій аналізу, зокрема штучних нейронних мереж, моделей на основі методів нечіткого виведення, моделей нечіткого регресійного аналізу.

**Мета і завдання дослідження.** Метою дослідження є обґрунтування доцільності використання методу нечіткої регресії при моделюванні інноваційних процесів.

**Виклад основного матеріалу.** Останнім часом багато науковців використовують різного роду економетричні моделі для дослідження економічних процесів країн і регіонів та інноваційних процесів зокрема. Наприклад, Н. Буга, І. Тарасов, О. Шевченко [2, с. 10] при побудові моделі інноваційного розвитку регіону пропонують застосовувати економетричну модель для вибору та оцінювання впливу незалежних чинників на величину валового регіонального прибутку, отриманого в результаті інноваційної діяльності. Л. Могильна пропонує модель залежності виручки від впровадження інновацій від капітальних інвестицій, державної підтримки та приведених витрат [7]. А. Вдовиченко розглядає залежність обсягу виданих довгострокових кредитів на фінансування інноваційної діяльності як функцію від обсягу строкових депозитів, відсоткової ставки по них та відсоткової ставки по довгостроковим кредитам [6]. М. Сліпченко у своєму дослідженні додає у модель А. Вдовиченка залежність між виданими довгостроковими кредитами та фінансовими вкладками в інновації [8].

Основою економетричного моделювання є кореляційно-регресійний аналіз – один із найбільш популярних методів обробки статистичних даних.

Регресія – це залежність математичного сподівання (наприклад, се-

реднього значення) випадкової величини від однієї або декількох інших випадкових величин (вільних змінних). Значення параметрів у випадку лінійної регресії знаходять за допомогою методу найменших квадратів, коли мінімізується сума квадратів відхилень реальних у від їх оцінок.

Цей метод не завжди можна адекватно використовувати для вирішення економічних задач. Зокрема, важливим обмеженням МНК для економічних задач є необхідність виконання таких передумов:

- збурення регресійних рівнянь розподіляється за нормальним законом;
- збурення повинно бути гомоскедастичним, тобто мати сталу дисперсію, бути вільним від автокореляції та просторової кореляції.
- регресори (чинники) повинні бути вільними від суттєвої колінеарності;
- довжина рядів даних (вхідних вибірок) повинна бути більшою за число регресорів, до того ж ряди даних повинні бути вибрані згідно з великим (принаймні 10 – 15 років) проміжком часу;
- регресори і коефіцієнти регресії повинні бути детермінованими величинами, незмінними у просторі та часі тощо [9].

Зазначені жорсткі обмеження не дають можливість застосувати класичний регресійний аналіз для опису процесів, що швидко трансформуються, зокрема інноваційних процесів, через:

- дефіцит знань про структуру й поведінку суб'єктів господарювання;
- динаміку процесів, які відбуваються в економічному середовищі;
- причин, що породжують конфліктні ситуації;
- невизначеність в оцінках можливих варіантів розвитку економіки;
- відсутність або неповноту необхідних вхідних даних для моделювання тощо [9].

Окрім цього, при використанні класичної регресії можуть виникнути проблеми, якщо:

- 1) кількість спостережень є недостатньою (малий набір даних);
- 2) складно перевірити припущення про розподіл випадкової величини;
- 3) існує невизначеність у співвідношенні вхідних та вихідних даних;
- 4) події є двозначними або неможливо вказати ступінь, з яким вони відбуваються;
- 5) присутня неточність та спотворення, що вносяться лінеаризацією.

Специфіка інноваційного процесу робить неможливим використання традиційних регресійних моделей, адже інноваційний процес – це складний і взаємопов'язаний процес створення інновацій з використанням сукупності системи знань, наукової і маркетингової діяльності; сукупності засобів праці, що полегшують людську працю і роблять її продуктивнішою (техніка, прилади, устаткування, організація виробництва); це комплекс різних послідовних видів діяльності на основі поділу і кооперації праці – від одержання нового теоретичного знання до використання створеного на його основі товару споживачем [3, с. 47].

Інноваційний процес має циклічний характер розвитку, здійснюється в просторі і часі, основними його стадіями є: наукова (фундаментальні та прикладні дослідження), технічна (дослідно-конструкторські розробки та дослідно-експериментальні розробки), технологічна (організаційно-економічна робота), експлуатаційна (промислове виробництво нових товарів, масове виробництво) [3, с. 51]. Кожна з цих стадій потребує фінансових та інших витрат на своє здійснення, а отже, інноваційний процес обов'язково містить інвестиційну складову.

Сутність інноваційного процесу полягає у поширенні інновацій, а отже, має місце "дифузія інновацій", або так зване "просторове переміщення" – це інформаційний процес, форма і швидкість якого залежить від потужності комунікаційних каналів, особливостей сприйняття інформації господарюючими суб'єктами, їхніх здібностей до практичного використання цієї інформації тощо [3, с. 49]. Це зумовлено тим, що господарюючі суб'єкти, діючи в реальному економічному середовищі, виявляють неоднакову зацікавленість до пошуку інновацій і різну здатність до їх освоєння.

Отже, для того, щоб адекватно змоделювати інноваційний процес, необхідно застосовувати методи, які б враховували те, що велика кількість інформації є результатом роботи експертів, а отже, є суб'єктивною та важко піддається формалізації.

Прикладом таких методів може бути запропонована Л. Заде у 1965 році теорія нечітких множин, основною перевагою якої є те, що вона може описувати дані, задані нечітко. Для цього використовується функція належності, що визначає суб'єктивну міру впевненості експерта про те, що задане конкретне значення базової шкали відповідає нечіткій множині. Теорія нечітких множин набула широкого використання у методах дослідження економічних явищ [1; 4], у тому числі вона застосовується й у регресійному аналізі [11; 13].

Для побудови регресійних моделей при нечіткій вихідній інформації був запропонований і розроблений нечіткий регресійний аналіз. Якщо у звичайному регресійному аналізі помилки між значеннями, отриманими за регресійною моделлю, і фактичними даними приймаються як помилка спостереження, що є випадковою величиною (з нормальним розподілом і математичним сподіванням, рівним нулю), то в нечіткому регресійному аналізі ті ж самі помилки розглядаються обумовленими нечіткістю структури моделі.

Сьогодні розроблені й використовуються три методи нечіткого регресійного аналізу [13, с. 14]: нечітка регресія, заснована на критерії мінімізації нечіткості; підхід, комбінований з методом найменших квадратів, що отримав назву FLSRA (Fuzzy least-square regression analysis); регресія інтервалу. Слід особливо зазначити, що всі три методи можуть як вихідну інформацію про досліджуваний параметр використовувати як нечітку інформацію, виражену у вигляді функцій належності, так і повністю де-

терміновану інформацію, що істотно розширює область їхнього використання.

Розглянемо детальніше метод нечіткої регресії.

У цьому методі замість мінімізації квадратів похибок вирішується задача мінімізації ширини нечіткого інтервалу прогнозних значень  $Y$ . Відмова від МНК звільняє цей метод від необхідності виконання 6 зазначених вище передумов МНК. Пошук коридору зміни  $Y$  зводиться до рішення задачі лінійного програмування.

Задача нечіткого регресійного аналізу – знайти таке рівняння, яке б найбільш точно описувало зв'язки між значеннями чинників і результативним показником із врахуванням того, що зв'язки розмиті, нежорсткі, тобто коефіцієнтами рівняння регресії є нечіткі числа.

Нехай дана множина спостережень  $(y_j, x_{j1}, \dots, x_{jn}), j = \overline{1, m}$ , необхідно знайти нечітку модель виду:

$$\tilde{Y} = \tilde{a}_0 + \tilde{a}_1 x_1 + \dots + \tilde{a}_m x_m, \quad (1)$$

де  $\tilde{a}_i = (a_i - b_i, a_i, a_i + b_i)$  – трикутні нечіткі числа,  $a_i$  – найбільш ймовірне значення коефіцієнта;  $b_i$  описує ширину розмитості коефіцієнта (див. рис. 1).

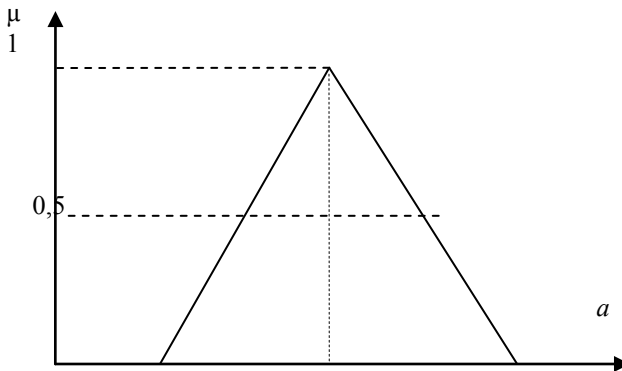


Рис. 1. 1. Функція належності нечіткого трикутного числа

Нечітке трикутне число характеризується такою функцією належності [1]:

$$\mu(a) = \begin{cases} 0, & a \leq a_i - b_i, \\ \frac{a - (a_i - b_i)}{a_i - (a_i - b_i)}, & a_i - b_i < a \leq a_i, \\ \frac{(a_i + b_i) - a}{(a_i + b_i) - a_i}, & a_i < a < a_i + b_i, \\ 0, & a_i + b_i \leq a. \end{cases} \quad (2)$$

Для того, щоб визначити нечіткі коефіцієнти  $\tilde{a}_i = (a_i - b_i, a_i, a_i + b_i)$ , слід сформулювати нечітку цільову функцію регресії як задачу лінійного програмування виду:

$$F = \sum_{j=1}^m \left[ \sum_{i=1}^n ((a_i + b_i)x_i) + (a_0 + b_0) - \sum_{i=1}^n ((a_i - b_i)x_i) \right] \rightarrow \min \quad (3)$$

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n ((a_i - b_i)x_i) + (a_0 - b_0) \leq Y_j, j = \overline{1, m} \\ \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n ((a_i + b_i)x_i) + (a_0 + b_0) \geq Y_j, j = \overline{1, m} \\ b_i \geq 0. \end{cases}$$

Перша умова такої оптимізаційної задачі забезпечує те, що значення нижньої межі нечіткого  $\tilde{Y}$  буде меншим за фактичні значення результуючої ознаки, а друга умова – що значення верхньої межі нечіткого  $\tilde{Y}$  є більшим за фактичні значення результуючої ознаки. Таким чином формується коридор значень модельованого явища. Ця задача може бути вирішена за допомогою функції "ПОИСК РЕШЕНИЯ" пакету MS Excel.

Таблиця 1  
Вихідні дані для побудови регресійної моделі  
інноваційного процесу у промисловості

Рік	Обсяги реалізованої інноваційної промислової продукції, млн. грн.	Впроваджено нових технол. процесів	Освоєно виробництво нових видів продукції, найменувань	Загальна сума витрат, млн. грн.	Індекси цін виробників промислової продукції, %	Зважена облікова ставка НБУ, %
t	Y	x1	x2	x3	x4	x5
2000	11876,69	1403	15323	1447,19	120,80	30,64
2001	14337,30	1421	19484	1715,48	100,90	19,76
2002	16074,41	1142	22847	2448,18	105,70	9,67
2003	16190,57	1482	7416	2330,31	111,10	7,00
2004	23243,91	1727	3978	3309,93	124,10	7,54
2005	30456,57	1808	3152	3963,29	109,50	9,21
2006	36965,84	1145	2408	5500,00	114,10	8,94
2007	48044,14	1419	2526	8787,70	123,30	8,21
2008	54105,09	1647	2446	9964,41	1230	11,39
2009	38714,43	1893	2685	6645,62	114,30	11,16

Здійснимо практичну реалізацію нечіткої регресійної моделі для інноваційного процесу в промисловості України. Для дослідження інноваційного процесу як залежну змінну  $Y$  оберемо обсяг реалізованої інноваційної промислової продукції, який виступає результатом впровадження інновацій. Визначимо кількість впроваджених нових технологічних процесів ( $x_1$ ) та кількість нових видів продукції ( $x_2$ ) як фактори, що характеризують інноваційну сторону процесу, а загальну суму інноваційних витрат ( $x_3$ ), індекс цін виробників промислової продукції ( $x_3$ ) та зважену облікову ставку НБУ ( $x_4$ ) як фактори, що описують інвестиційну складову процесу. При цьому загальна сума інноваційних витрат виступає як необхідний обсяг інвестиційних ресурсів, а індекс цін та облікова ставка – параметри, що впливають на рішення інвестора. Вихідні дані обраного масиву чинників складено зі статистичних даних Державного комітету статистики України та представлено у таблиці 1.

Попередньо дані було перевірено на відсутність мультиколінеарності за допомогою алгоритму Фаррара-Глобера. Модель нечіткої регресії для обсягів реалізованої інноваційної промислової продукції буде мати вигляд:

$$\tilde{Y} = \tilde{a}_0 + \tilde{a}_1x_1 + \tilde{a}_2x_2 + \tilde{a}_3x_3 + \tilde{a}_4x_4 + \tilde{a}_5x_5 \quad (4)$$

Таблиця 2

Розрахункові значення характеристик параметрів нечіткої регресії  
 $\tilde{a}_i = (a_i - b_i, a_i, a_i + b_i)$

	a0	a1	a2	a3	a4	a5
Центр нечіткого коефіцієнта регресії	-3082,3100	2,0336	0,0307	4,8875	70,1977	-32,1745
	b0	b1	b2	b3	b4	b5
Розкид нечіткого коефіцієнта регресії	2780,7980	0,0309	0,0008	0,0388	0	1,2972

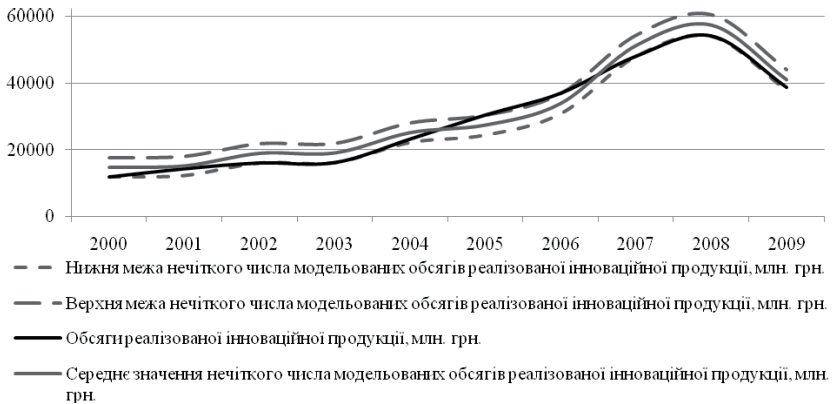
Для визначення коефіцієнтів нечіткої регресії, слід розв’язати таку оптимізаційну задачу:

$$F = \sum_{j=1}^0 \left[ \sum_{i=1}^5 ((a_i + b_i)x_j) + (a_0 + b_0) - \sum_{i=1}^5 ((a_i - b_i)x_j) \right] \rightarrow \min \quad (5)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 0 \leq \sum_{j=1}^0 \sum_{i=1}^5 ((a_i - b_i)x_j) + (a_0 - b_0) \leq Y_j, j = \overline{1,0} \\ 0 \leq \sum_{j=1}^0 \sum_{i=1}^5 ((a_i + b_i)x_j) + (a_0 + b_0) \geq Y_j, j = \overline{1,0} \\ b_i \geq 0. \end{array} \right.$$

Додатково на систему обмежень накладаємо умови невід'ємності, оскільки значення обсягу реалізованої інноваційної промислової продукції не можуть бути меншими нуля.

Зобразимо вигляд обсягів реалізованої інноваційної промислової продукції, змодельованої на основі нечіткої регресії на графіку.



**Рис. 2. Графік фактичних та модельованих на основі нечіткої регресії значень обсягів реалізованої інноваційної промислової продукції**

Порівняємо результати, отримані на основі моделі нечіткої регресії, та змодельовані за допомогою класичної лінійної регресії.

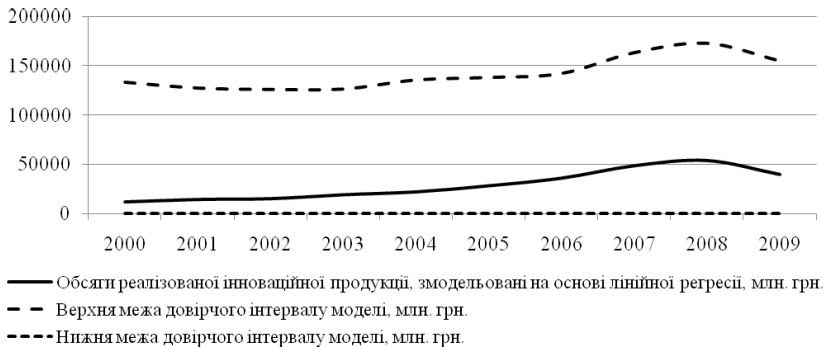
*Таблиця 3*  
*Оцінки та довірчі інтервали параметрів лінійної регресії*

Коефіцієнт	a0	a1	a2	a3	a4	a5
Лінійна	35709,42	-1,98	-0,42	4,58	-194,88	76,85
Верхня межа	80876,33	7,44	0,08	5,52	159,92	432,90
Нижня межа	-9457,50	-11,40	-0,91	3,62	-549,68	-279,20
Розрахункове значення t-критерію	2,20	-0,58	-2,32	13,37	-1,53	0,60
Розрахункове значення рівня значимості	0,09	0,59	0,08	0,00	0,20	0,58

З рис. 3. можна побачити, що моделювання на основі класичної регресії дає нам досить широкий інтервал можливих значень обсягів реалізованої інноваційної промислової продукції. Насамперед, це пов'язано із малим



обсягом вибірки (лише 10 значень), адже стандартизована похибка оцінки параметра моделі перебуває в оберненій залежності із кількістю спостережень – чим більше спостережень, тим на більшу величину коригується стандартизована похибка. Окрім цього, перевірка на адекватність коефіцієнтів класичної регресії з використанням t-критерію (розрахунковий критерій за абсолютною величиною має бути більшим 2) та рівня значимості (розрахункове значення має бути меншим 0,05) дала незадовільні результати для всіх параметрів, окрім  $a_3$ . Це означає, що більшість параметрів моделі інноваційного процесу на основі класичної регресії є статистично незначущими, а отже, модель не є адекватною.



**Рис. 3. Графік коридору модельованих значень обсягів реалізованої інноваційної промислової продукції**

Таким чином, моделювання інноваційного процесу на основі класичної регресії є недоцільним.

**Висновки.** Отже, в результаті побудови моделі інноваційного процесу на основі нечіткої регресії можна дійти висновків.

1. При вихідній інформації про явище, яка задана нечітко (а це більшість параметрів, що характеризують виникнення та впровадження інновацій), для побудови регресійних моделей доцільно користуватися нечітким регресійним аналізом.

2. Нечіткий регресійний аналіз може також застосовуватися і при точному заданні вхідних даних. При цьому наявність розкиду отриманих результатів дозволяє врахувати невизначеність вхідної інформації (рівень невизначеності для інноваційних процесів є досить високим і за допомогою стандартних математичних методів дослідження не може бути врахований) і може замінити довірчий інтервал стандартної лінії регресії. Інакше кажучи, нечіткий регресійний аналіз має деяку універсальність відносно вихідних даних досліджуваного залежного параметру.

3. Нечітка регресійна модель, на відміну від стандартної регресії, не за-

лежить від об'єму вибірки. Модель у цьому випадку залежить від розкиду вихідних даних. Цей факт дозволяє спростити процес побудови моделей шляхом скорочення вихідних даних. При цьому достовірність отриманих результатів не зменшується. Це є надзвичайно важливим для дослідження інноваційних процесів, які не можна охарактеризувати значними вибірками даних.

Усе вищесказане свідчить про можливість ефективного застосування методу нечіткої регресії для моделювання інноваційно-інвестиційних процесів.

У перспективі слід розглянути можливості використання методу нечіткої регресії, що оснований на мінімізації нечіткості, для інших видів функцій належності.

### Література:

1. Дилигенский Н. В., Дымова Л. Г., Севастьянов П. В. Нечеткое моделирование и многокритериальная оптимизация производственных систем в условиях неопределенности: технология, экономика, экология: Монография. – М. : "Издательство Машиностроение – 1", 2004.
2. Лещинський О. Л. Економетрія: посіб. для студ. вищ. навч. закл. – К. : МАУП, 2003. – 208 с., іл.
3. Микитюк П. П. Інноваційний менеджмент: Навчальний посібник. – Тернопіль: Економічна думка, 2006. – 295 с.
4. Недосекин А. О. Нечетко-множественный анализ риска фондовых инвестиций: Монография. – Санкт-Петербург, 2002 г. – 181 с.
5. Буга Н. Модель інноваційного розвитку проблемних регіонів / Н. Буга, І. Тарасов // Економіст. – 2007. – № 7. – С. 48–50.
6. Вдовиченко А. М. Фінансові ресурси населення та їх вплив на інноваційні процеси в Україні // [www.nbuv.gov.ua/Portal/Soc\\_Gum/APE/2009\\_1/207-217.pdf](http://www.nbuv.gov.ua/Portal/Soc_Gum/APE/2009_1/207-217.pdf).
7. Могильна Л. М. Сучасні проблеми управління інноваційним розвитком в сільськогосподарських підприємствах // [www.library.kpi.kharkov.ua/Vestnik/2010\\_7/statti/](http://www.library.kpi.kharkov.ua/Vestnik/2010_7/statti/).
8. Сліпченко М. Ефективність дії трансмісійного механізму кредитування при формуванні інноваційної моделі розвитку економіки // [www.library.tane.edu.ua/images/nauk\\_vydannya/yPU8nt.pdf](http://www.library.tane.edu.ua/images/nauk_vydannya/yPU8nt.pdf)
9. Сявак М. С. Підвалини економетрії другого покоління // Фінансова система України. – 2009. – № 12. – С. 491-504.
10. Шевченко О. М. Модель інноваційного розвитку регіону / О. М. Шевченко // Макроекономічне регулювання інвестиційних процесів та впровадження стратегії інновативно-інноваційного розвитку в Україні : матеріали міжн. наук.-практ. конф. м. Київ, 23–24 жовтня 2008 р. : у 3-х ч. / РВПС України НАН України. – К. : РВПС України НАН України, 2008. – Ч. 3. – С. 291–292.
11. Штовба С. Д. Нечеткая идентификация на основе регрессионных моделей параметрической функции принадлежности // Проблемы управления и информатики. – 2006. – № 6.

12. Shapiro A. Fuzzy regressin models // <http://www.soa.org/library/research/actuarial-research-clearing-house/2006/january/arch06v40n1-ii.pdf>.
13. Yun-Hsi O. Chang Hybrid fuzzy least-squares regression analysis and its reliability measures. // *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 119 (2), 2001. – P. 225-246.
14. Yun-Hsi O. Chang, Bilal M. Ayyub Fuzzy regression methods – a comparative assesment. // *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 119 (2), 2001. – P. 187-203.