

УДК 621.311

## ВИКОРИСТАННЯ НЕЧІТКОГО РЕГРЕСІЙНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ НА ПІДПРИЄМСТВІ

Овчаров В.В., д.т.н.

Катюха І.А., аспірант \*.

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

Тел. (0619) 42-32-63

Тимчук С.О. к.т.н.

*Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. П. Василенка,*

Тел. (056) 712-35-37

**Анотація** – робота присвячена використанню методики довгострокового прогнозу електроспоживання на основі застосування нечіткого регресійного аналізу з комбінованим критерієм на прикладі прогнозу електроспоживання підприємством протягом року. Даний критерій враховує як ступінь близькості оцінок до вихідних даних, так і ступінь нечіткості.

**Ключові слова** – нечіткий регресійний аналіз, прогноз електроспоживання, функція належності, метеоумови.

*Постановка проблеми.* Серед вживаних наразі методів прогнозу найпоширенішим є регресійний аналіз. Здебільше вихідна для прогнозу інформація несе в собі невизначеність, що обумовлена неодноразовою реєстрацією приладів, недосконалістю системи обліку, впливом зовнішніх факторів, недостатнім об'ємом інформації, тощо. Ці типи невизначеності не можуть бути однозначно інтерпретовані як випадковість. Тому застосування традиційного регресійного аналізу, що базується на теорії вірогідності та математичній статистиці не є коректним. Одним з методів розв'язання окресленої задачі є нечіткий регресійний аналіз, що дозволяє обробляти дані, що містять в собі багатозначність, розмитість, лінгвістичну невизначеність.

*Аналіз останніх досліджень.* Нечіткий регресійний аналіз [1] базується на критерії мінімізації нечіткості. Існує підхід, що комбінує критерій мінімуму суми квадратів нев'язок і мінімум нечіткості [2]. Функції приналежності при цьому здебільше вважаються трикутними

---

\* Науковий керівник: д.т.н. В.В. Овчаров

© д.т.н. Овчаров В.В., аспірант Катюха І.А.

та симетричними [3]. Розглядається здебільше лінійна регресія і методи отримання результату також орієнтовані на цей випадок. Критерій мінімізації нечіткості доповнюється рядом обмежень, що обумовлюють попадання вихідних даних в межі регресії. Здається, що такий підхід є відходом від суті. Адже метою є саме опис даних, а мінімізація нечіткості – супутня вимога. Тому такі підходи потребують доробки, оскільки в загальному випадку функції приналежності трикутних нечітких чисел асиметричні, регресія може бути нелінійною. Доробка може полягати в побудові спеціального критерію отримання коефіцієнтів регресії і виборі оптимального метода розв'язання задачі.

*Формулювання цілей статті (постановка завдання).* Необхідно отримати регресійну залежність для довгострокового прогнозу електроспоживання підприємством (автозаправною станцією). Вихідними даними є результати вимірів електроспоживання апаратурою АСКОЕ підприємства за попередній рік. Прогнозна залежність повинна давати можливість отримання добового графіка електроспоживання для будь-якого дня місяця наступного року.

*Основна частина.* Процес розв'язування задачі складається з ряду етапів. На першому етапі на основі аналізу вихідних даних (рис. 1) визначений вид функції регресії [4]. Слід зазначити, що процес визначення оптимального виду функції регресії не формалізовано. Традиційно використовується поліноміальний підхід, який виправданий в задачах інтерполяції, частіше виявляється даремним для задач прогнозу. На погляд авторів для прогнозних задач слід використовувати залежності, які якісно вірно описують тенденції розвитку процесу, що розглядається, зі взаємозв'язками з зовнішніми для даного процесу факторами.

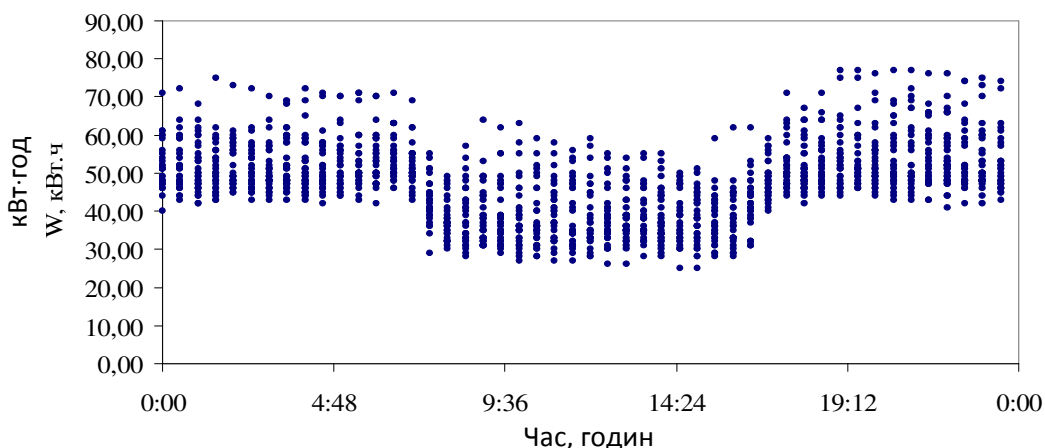


Рис. 1. Добовий графік електроспоживання автозаправною станцією.

Проаналізувавши характер зміни добового графіка електроспоживання (рис. 1), можна зробити висновок, що він періодичний і має

два розриви. Точки  $t_1$  та  $t_2$  залежать від дня на протязі року і, як очевидно, пов'язані зі зміною тривалості світлового дня. Величини електроспоживання всередині діапазону ( $t_1, t_2$ ) та за його межами залежать від метеоумов (в основному від температури повітря), а метеоумови залежать від дня року.

Таким чином, спрощена прогнозна регресійна залежність добового електроспоживання підприємства має вид, представлений на рис. 2.

Відповідно, регресійна залежність повинна складатись із двох функцій, які описують дані всередині діапазону ( $t_1, t_2$ ) та за його межами.

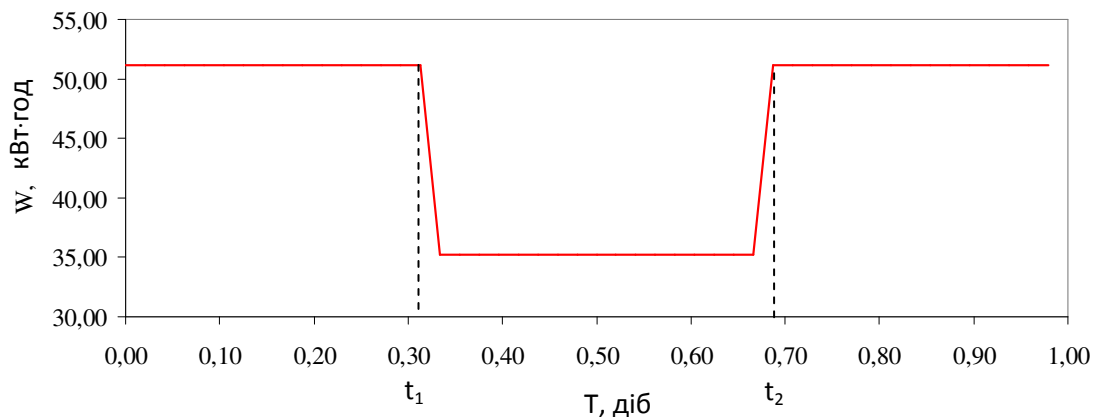


Рис. 2. Спрощений вид залежності для прогнозу добового графіку електроспоживання.

На другому етапі знайдена регресійна залежність  $t_1$  і  $t_2$  від номеру дня року. Для цього в експериментальних даних виділені точки розриву, а для функцій регресії вибрано косинусуїдальну залежність, яка зкорельована з часом світанку (для  $t_1$ ) та часом заходу сонця (для  $t_2$ ). За допомогою традиційного регресійного аналізу отримані наступні залежності:

$$t_1 = 0,0518 \cdot \cos(2 \cdot \pi / 365 \cdot (d - 353,462)) + 0,276,$$

$$t_2 = 0,1044 \cdot \cos(2 \cdot \pi / 365 \cdot (d - 175,431)) + 0,77.$$

де  $d$  – номер дня у році.

В графічному виді вони представлені на рис. 3. В даному випадку одиниця вимірювання  $t_1, t_2$  – доба.

На третьому етапі отримані регресійні залежності для електроспоживання всередині та зовні діапазону ( $t_1, t_2$ ). Для цього використана розроблена методика нечіткого регресійного аналізу.

Розроблений варіант регресійного аналізу для обробки даних, представлений у виді нечітких чисел може бути використаний до задач прогнозу на основі статистичної інформації, що розв'язується. В даному випадку універсальність його витікає із того положення, що одно-

значні результати вимірювання, представлені у виді детермінованого часового ряду, є окремим випадком нечіткого подання даних. Тобто для нечіткого регресійного аналізу вони являються сінглтонами.

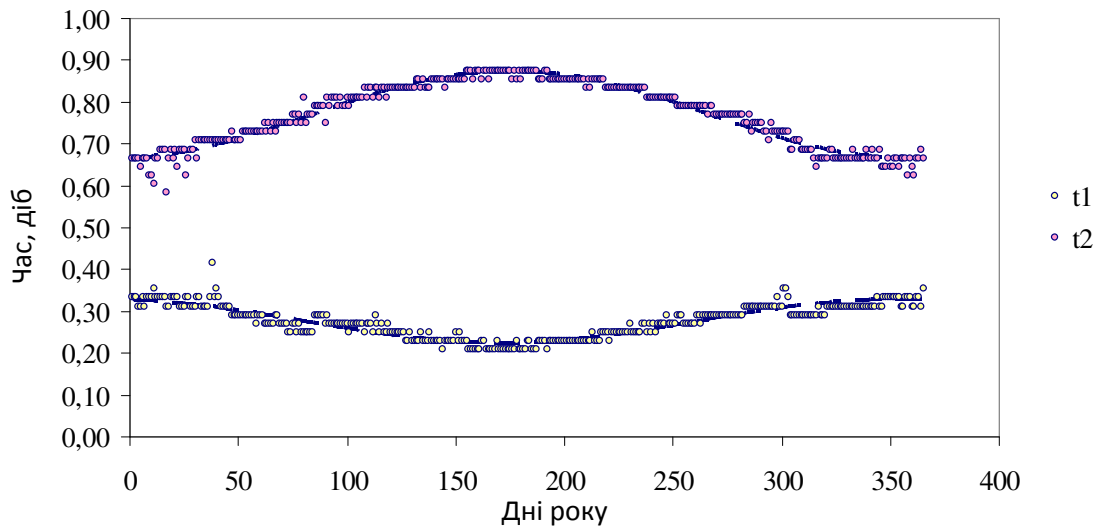


Рис. 3. Залежності для точок розриву функції регресії.

Параметр  $y$ , заданий у виді сінглтона може бути представлений як трикутне нечітке число, у якого  $y_{min} = y_{cp} = y_{max}$  (рис. 4).

Тоді перетинання нечіткого трикутного числа  $y_1$  (оцінки) з сінглтоном  $y$  можна оцінити не за площею перетинання фігур під функціями належності, а за значенням функції належності оцінки  $\mu_{y_1}(y)|_x$  (на рис. 4 виділено жирним).

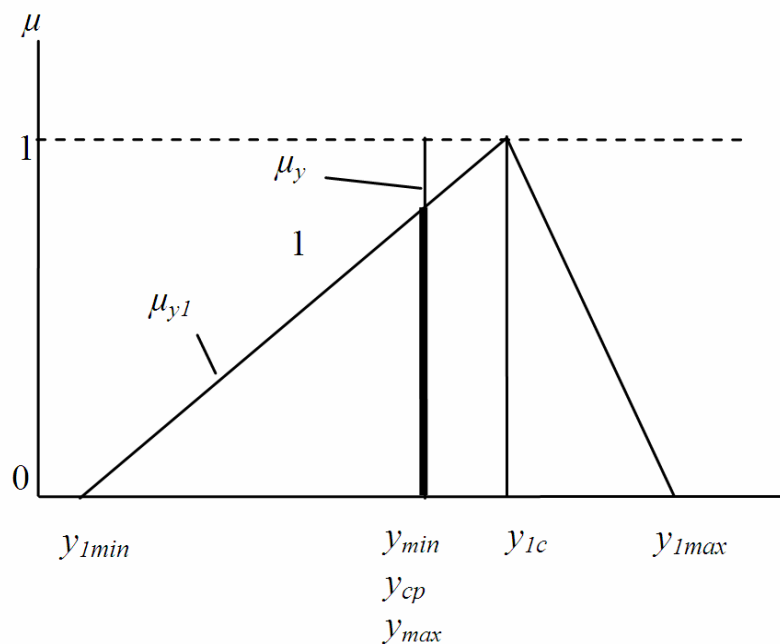


Рис. 4. Перетин нечіткого трикутного числа і сінглтона.

Таким чином, якщо маємо  $n$  значень параметру  $y$  при різних значеннях  $x$ , то ступінь близькості оцінок та вихідних даних буде відображати величина:

$$\mu_{\cap} = \sum_{i=1}^n \mu_{y_1}(y_i)$$

Тоді вираз [5]

$$S = \sum_{i=1}^n (S_{\Delta i} - S_{\cap i}) + \sum_{i=1}^n (S_{\Delta i} - S_{\cap i}) \rightarrow \min$$

Матиме вид:

$$S = \sum_{i=1}^n (y_{1maxi} - y_{1mini}) + \sum_{i=1}^n (1 - \mu_{y_1}(y_i)) \rightarrow \min$$

Оскільки дані АСКОЕ можуть бути інтерпретовані як часові послідовності чисел, які несуть в собі невизначеність, то вони в даному випадку являються сінглтонами і для пошуку коефіцієнтів регресії використано критерій  $S$ .

В процесі регресійного аналізу використані косинусоїдальні залежності, які відображають зміну потоку сонячної радіації протягом року.

Алгоритм пошуку коефіцієнтів регресії багатоступеневий з поетапним визначенням значень коефіцієнтів регресії. За основу взятий метод просторової сітки зі змінним кроком, оскільки він належить до методів пошуку глобального оптимуму, не накладає обмежень на вид цільової функції і має абсолютну збіжність.

В результаті обробки отримана залежність електроспоживання від номеру дня року у вигляді трикутного нечіткого числа  $W = \langle W_{min}, W_{cp}, W_{max} \rangle$ .

При  $t_1 < t < t_2$

$$W = \langle 9,03; 8,166; 8,648 \rangle \cdot \cos(2 \cdot \pi / 365 \cdot (d - \langle 13,735; 14,025; 13,402 \rangle)) + \langle 26,243; 30,916; 35,903 \rangle,$$

а при  $t_1 > t, t > t_2$

$$W = \langle 9,362; 9,793; 10,307 \rangle \cdot \cos(2 \cdot \pi / 365 \cdot (d - \langle 10,984; 10,141; 12,795 \rangle)) + \langle 41,4; 45,223; 50,138 \rangle,$$

де  $d$  – номер дня року,  $t$  – час доби.

На рис. 5 наведені приклади результатів розрахунку добового електроспоживання для декількох дат. Для обробки використані дані по електроспоживанню за 2012 рік, які зафіксовані АСКОЕ підприємства з інтервалом в півгодини.

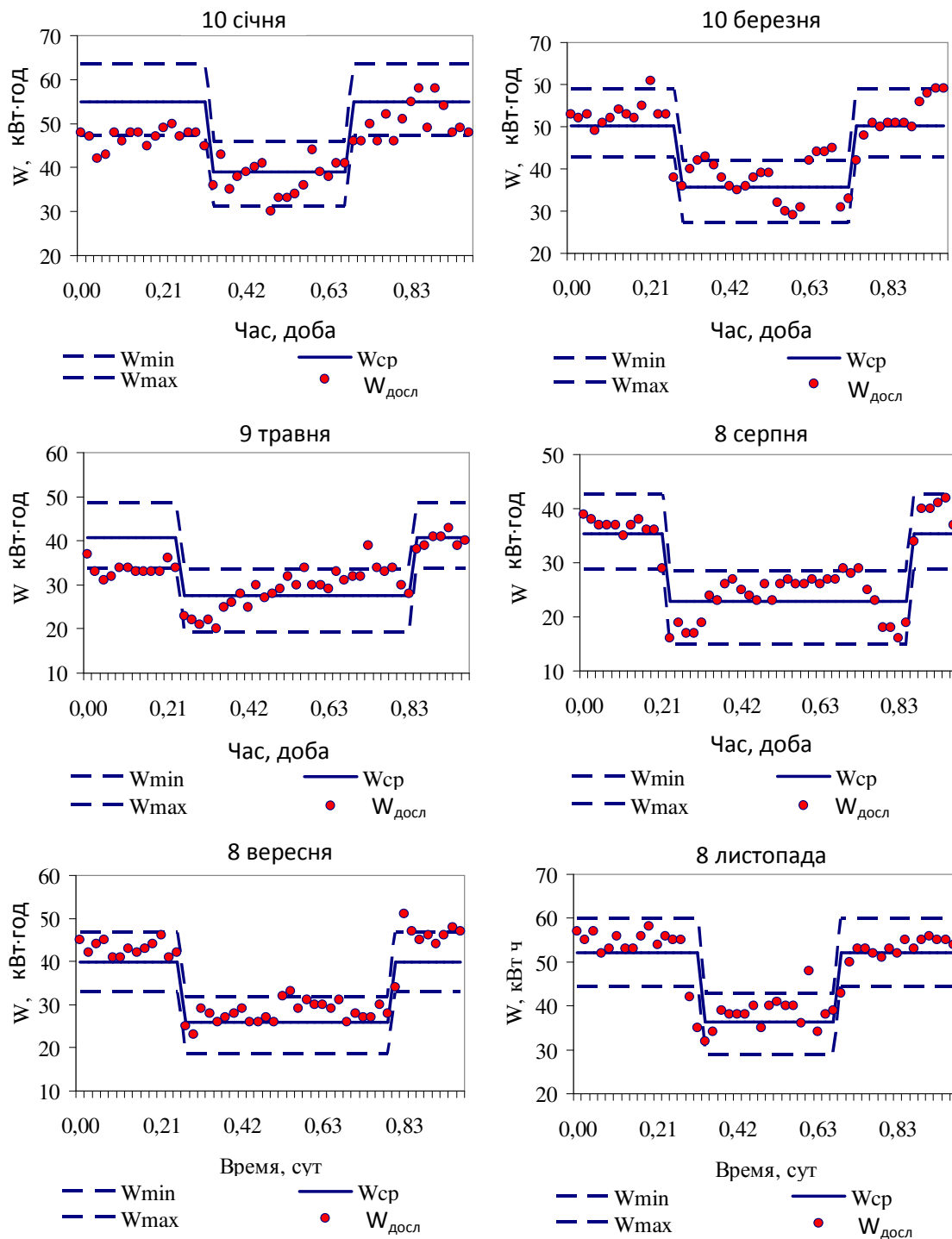


Рис. 5. Прогнозна нечітка залежність електроспоживання від дати та часу доби.

Точність отриманих результатів оцінювалась за наступним критерієм:

$$\delta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \mu_i(W),$$

де  $\mu_i(W)$  – значення функції належності виміряного електроспоживання розрахунковому нечіткому числу, яка відображає ступінь збігу виміряного значення і його нечіткого опису.

Очевидно, максимальне значення  $\delta = 1$  при абсолютно точному збігу значень  $W_{cp}$  з усіма дослідними даними.

Для обробленого масиву даних  $\delta = 0,3758$ .

Для перевірки прогнозних властивостей отриманих залежностей проведено порівняння розрахункових значень електроспоживання з даними АСКОЕ підприємства, що не використовувались в процесі визначення прогнозних залежностей. Для даних за 2011 рік точність прогнозу на всьому об'ємі дослідних даних  $\delta = 0,3462$ . За перші три дні 2013 року  $\delta = 0,3968$ . Даний результат свідчить про те, що на наступний рік точність прогнозу суттєво не змінюється.

*Висновки.* Користуючись даною методикою, можливо отримати нечіткі регресійні залежності і в іншому вигляді. Наприклад, календарні параметри можна замінити на метеорологічні, час доби – на рівень освітленості. В цьому випадку отримані залежності можуть бути використані для короткострокового прогнозу. Причому, оскільки регресія нечітка, то заміри параметрів метеоумов можуть бути і нескоординовані з реєстрацією електроспоживання.

Маючи прогнозні дані в нечіткій формі, керівництво підприємства може більш інформативно планувати та обґрунтовувати заходи щодо економії електроенергії.

#### Література.

1. *Chang Yun-Hsi O.* Fuzzy regression methods – a comparative assessment / *Yun-Hsi O. Chang, Bilal M. Ayyub*// Fuzzy Sets and Systems. – V. 119 (2). – 2001. – P. 187-203.
2. *Chang Yun-Hsi O.* Hybrid fuzzy least-squares regression analysis and its reliability measures.// Fuzzy Sets and Systems. – Vol. 119 (2). – 2001. – P. 225-246.
3. *Манусов В.З.* Анализ и прогнозирование электропотребления в энергосистемах при интервальном характере исходных данных / *В. З. Манусов, А. В. Могиленко, В. П. Костромин* // Проблемы энергетики. Баку. – №1. – 2003. – С. 33-39.
4. *Тимчук С. А.* Получение регрессионных зависимостей для данных, представленных в виде треугольных нечетких чисел / *С. А. Тимчук* // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-

25: сб. трудов XXV Междунар. Науч. Конф.: в 10 т. – Х.: НТУ «ХПИ», 2012. – Т. 2. – С. 25-26.

5. *Тимчук С. О.* Прогнозування електроспоживання на основі нечіткого регресійного аналізу / *С. О. Тимчук, І. А. Катюха* // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. – Х.: ХНТУСГ, 2012. – Вип. 130. – С. 36-38.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЧЕТКОГО РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИИ**

Овчаров В.В., Тимчук С.О., Катюха І.А.

### *Аннотация*

**Работа посвящена использованию методики долгосрочного прогноза электропотребления на основе использования нечеткого регрессионного анализа с комбинированным критерием на примере прогноза электропотребления предприятием в течение года. Данный критерий учитывает как степень близости оценок к исходным данным, так и степень нечеткости.**

## **USING OF THE FUZZY REGRESSION ANALYSIS FOR POWER CONSUMPTION FORECASTING AT THE ENTERPRISE**

V.Ovcharov, S. Tymchuk, I. Katyukha

### *Summary*

**Activity is dedicated to use of a technique of the long-term forecast of a power consumption on the basis of use of the fuzzy regression analysis with the combined criterion on the example of the power consumption forecast the enterprise within a year. This criterion considers as degree of proximity of estimates to basic data, and fuzzy degree.**