

УДК 621.311

**В.В. Овчаров<sup>1</sup> (д-р техн. наук, проф.),**  
**С.О. Тимчук<sup>2</sup> (канд. техн. наук, доц.), І.А. Катюха<sup>1</sup>**

1) Таврійський державний агротехнологічний університет, м. Мелітополь  
кафедра теоретичної та загальної електротехніки

2) Харківський національний технічний університет сільського господарства  
ім. Петра Василенка, м. Харків

кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

E-mail: [igorkat@yandex.ru](mailto:igorkat@yandex.ru), [stym@i.ua](mailto:stym@i.ua)

## ДОВГОСТРОКОВИЙ ПРОГНОЗ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЧІТКОГО РЕГРЕСІЙНОГО АНАЛІЗУ НА ПІДПРИЄМСТВІ

*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. Прогнозна залежність дає можливість отримання добового графіка електроспоживання для будь-якого дня місяця наступного року. Універсальність критерію витікає із положення, що однозначні результати вимірювання, представлені у виді детермінованого часового ряду, є окремим випадком нечіткого подання даних.*

**Ключові слова:** нечіткий регресійний аналіз, прогноз електроспоживання, похибка прогнозу, функція приналежності, 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 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 удосконалення 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.

© Овчаров В.В., Тимчук С.О., Катюха І.А., 2013

### Формулювання мети 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.

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.

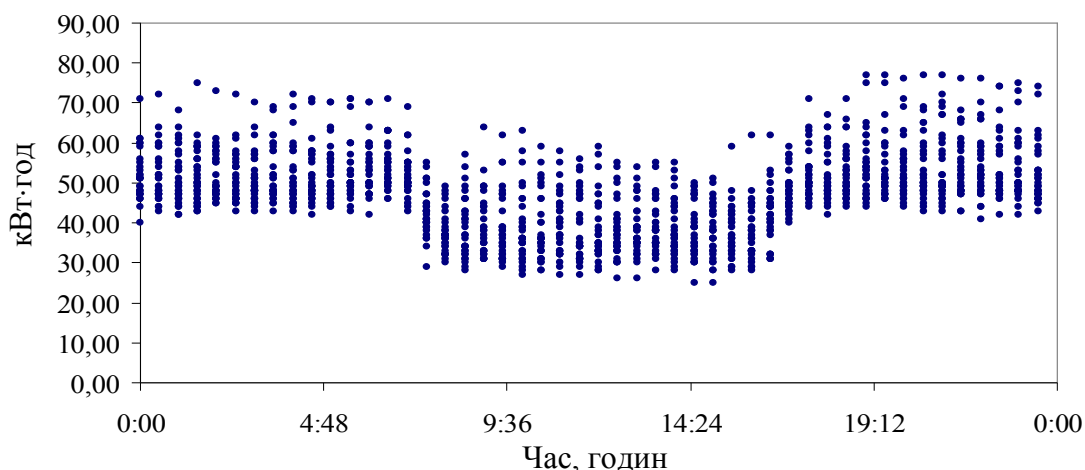


Рисунок 1 – Добовий графік електроспоживання автозаправною станцією

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

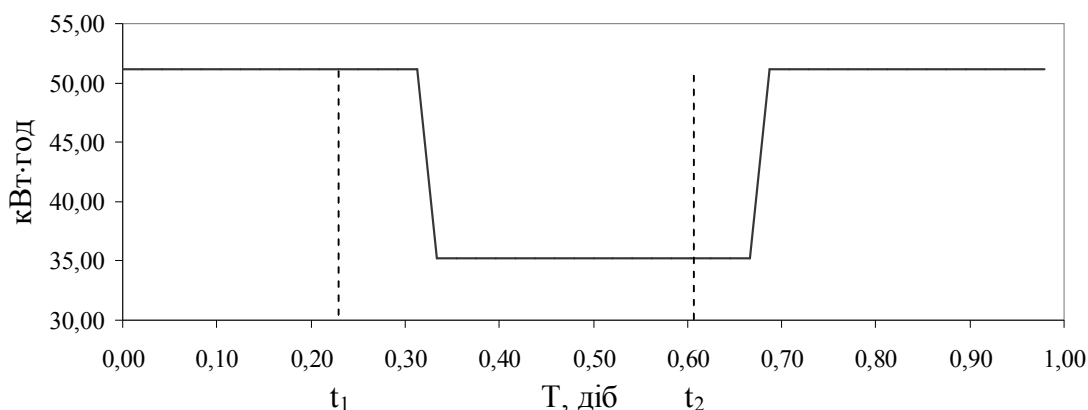


Рисунок 2 – Спрощений вид залежності для прогнозу добового графіка електроспоживання

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

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

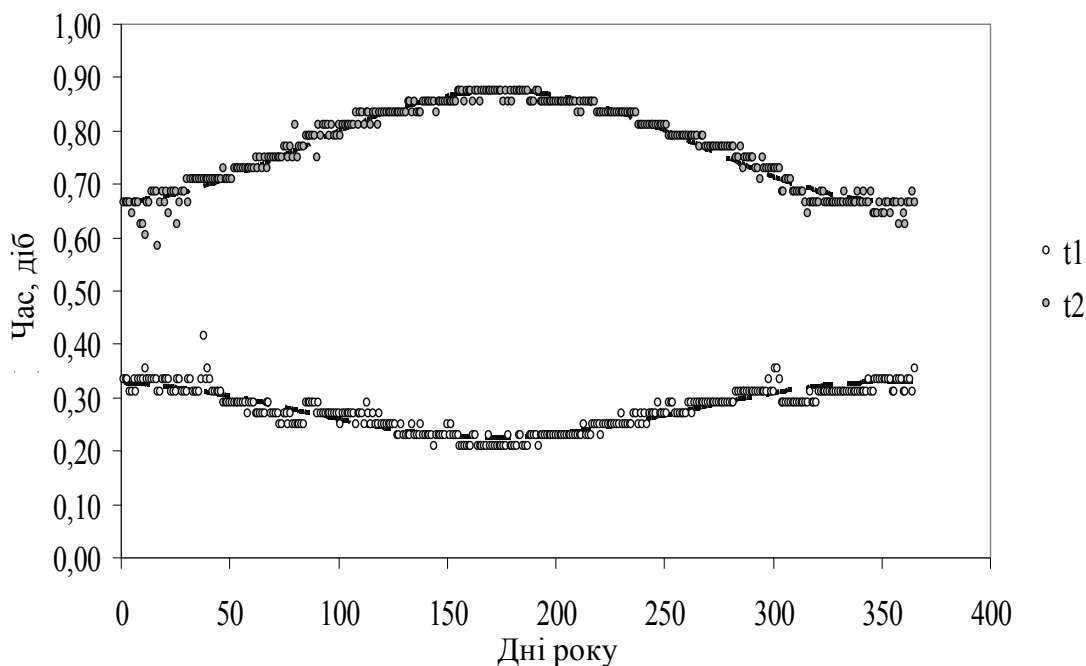


Рисунок 3 – Залежності для точок розриву функції регресії

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

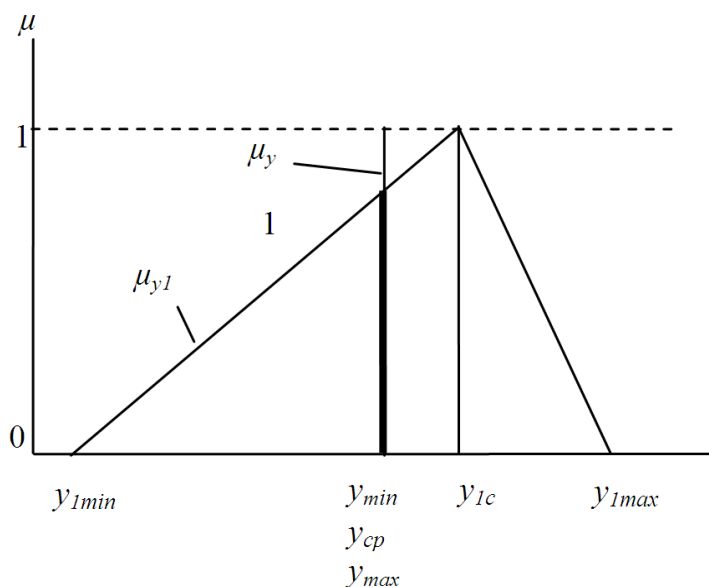


Рисунок 4 – Перетин нечіткого трикутного числа і сінглтона

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

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

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:

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

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 рисунку 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. Точність отриманих результатів оцінювалась за наступним критерієм:

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

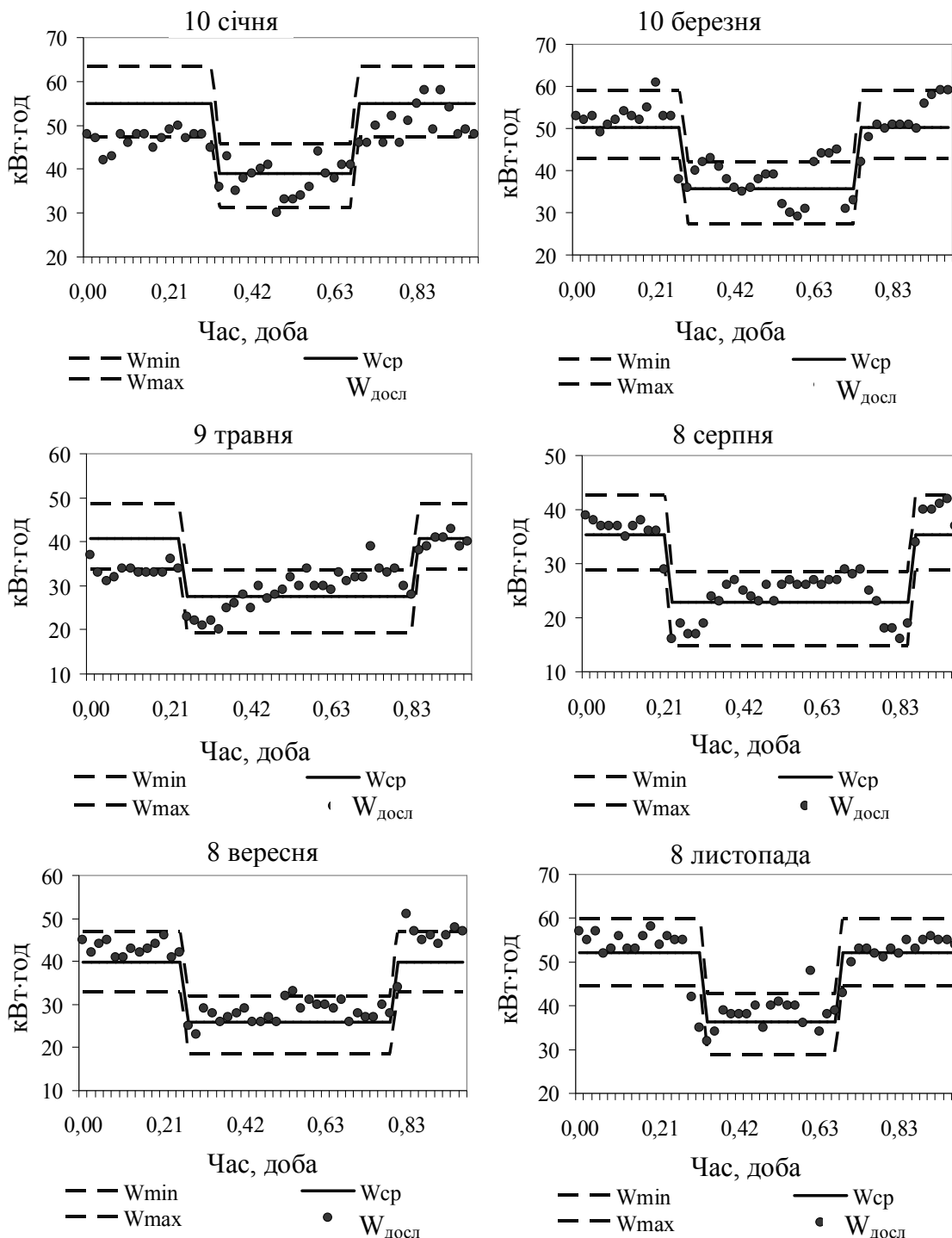


Рисунок 5 – Прогнозна нечітка залежність електроспоживання від дати та часу доби

де  $\mu_i(W)$  - значення функції належності виміряного електроспоживання розрахунковому нечіткому числу. Дана функція відображає ступінь збігу виміряного значення і його нечіткого опису.

Очевидно, максимальне значення  $\delta = 1$  при абсолютно точному збігу значень  $W_m$  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.

Для обробленого масиву даних  $\delta = 0,3758$ . При цьому 78% оброблених даних попадає в інтервал невизначеності нечітких чисел.

Традиційно точність прогнозу оцінюється за середньомодульною відносною похибкою (MAPE). У нашому випадку цю похибку можна приблизно оцінити за модальним значенням нечіткого прогнозу. Для обробленого масиву даних MAPE = 11,67%.

Для перевірки прогнозних властивостей отриманих залежностей проведено порівняння розрахункових значень електроспоживання з даними АСКУЕ підприємства, що не використовувались в процесі визначення прогнозних залежностей. Для даних за 2012 рік точність прогнозу на всьому масиві експериментальних даних  $\delta = 0,3462$  (MAPE = 13,34%). За перші три дні 2013 року  $\delta = 0,3968$  (MAPE = 8,11%).

#### 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.

#### Список використаної літератури

1. Chang Yun-Hsi O. Fuzzy regression methods - a comparative assessment / Yun-Hsi O. Chang, Bilal M. Ayyub // Fuzzy Sets and Systems. – 2001. – V. 119 (2). – P. 187-203.
2. Chang Yun-Hsi O. Hybrid fuzzy least-squares regression analysis and its reliability measures. // Fuzzy Sets and Systems. - 2001. - Vol. 119 (2). - 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. - 2003. - №1. – 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. – 2012. – Вип. 130. – С. 36 – 38.

Надійшла до редакції:  
18.04.2013

Рецензент:  
д-р техн. наук, проф. Ковальов Є.Б.

**В.В. Овчаров, С.О. Тимчук, И.А. Катюха**

**Таврический государственный агротехнологический университет**

**Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства**

**Долгосрочный прогноз электропотребления с использованием нечеткого регрессионного анализа на предприятии.** Работа посвящена использованию методики долгосрочного прогноза электропотребления на основании нечеткого регрессионного анализа с комбинированным критерием на примере прогноза электропотребления предприятием в течение года. Данный критерий учитывает не только степень близости оценок к выходным данным, но и степень нечеткости. Прогнозная зависимость дает возможность получения суточного графика нагрузки для любого дня любого месяца, следующего года. Универсальность критерия следует из положения о том, что однозначные результаты исследования, представленные в виде детерминированного временного ряда, являются частным случаем нечеткого их представления.

**Ключевые слова:** нечеткий регрессионный анализ, прогноз электропотребления, погрешность прогноза, функция принадлежности, метеоусловия.

**V.Ovcharov, S. Tymchuk, I. Katyukha**

**Taurian State Agrotechnical University**

**Kharkiv National Technical University of Agriculture**

**The Long-Term Forecast of Power Consumption with the Use of Peggession Analysis at an Enterprise.** The article is devoted to the use of a technique of long-term forecast of power consumption on the basis of fuzzy regression analysis with the combined criterion on the example of the forecast of annual power consumption of an enterprise. Expected dependence gives the chance of obtaining the daily schedule of power consumption for any day of any month of the next year.

The process of defining optimum type of regression function is not formalized. For expected tasks it is necessary to use dependences which qualitatively describe the tendencies of development of the considered process with interrelations with external factors for this process.

The daily schedule of power consumption has two points of discontinuities. The points depend on the day within a year and are connected with the change of lightday duration. Power consumption within and beyond the range depends on meteorological conditions, and they depend on the day of the year.

The developed version of regression analysis for data processing, presented in the form of fuzzy numbers, can be used in problems of prediction on the basis of statistical information. In this case universality of the method is that the unique results of measurement presented in the form of the determined time series are a separate case of fuzzy data presentation. That is for fuzzy regression analysis they are solo-sets.

Using this approach, it is also possible to receive fuzzy regression dependences in another form. For example, calendar parameters can be changed for metrological and time of the day can be changed for illumination intensity level. In this case the obtained dependences will be used for short-term forecast. And, as the regression is fuzzy, the measurements of meteoconditions parameters can be not coordinated with power consumption filing.

**Keywords:** fuzzy regression analysis, power consumption forecasting, prediction error, membership function, meteoconditions.