

## ПРОГНОЗУВАННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ НА ОСНОВІ НЕЧІТКОГО РЕГРЕСІЙНОГО АНАЛІЗУ

Тимчук С. О.<sup>1</sup>, Катюха І. А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка

<sup>2</sup>Таврійський державний агротехнологічний університет

Запропоновано методику довгострокового прогнозу електроспоживання на основі застосування нечіткого регресійного аналізу з комбінованим критерієм, що враховує як степінь близькості оцінок до вихідних даних, так і степінь нечіткості. Методику проілюстровано на конкретному прикладі прогнозу електроспоживання підприємством протягом року.

**Постановка проблеми.** Задача прогнозування електроспоживання актуальна як для енергокомпаній, так і для споживачів. Серед вживаних наразі методів прогнозу найпоширенішим є регресійний аналіз. Здебільше вихідна для прогнозу інформація несе в собі невизначеність, що обумовлена неоднотимчасною реєстрацією приладів, недосконалістю системи обліку, впливом зовнішніх факторів, недостатнім об'ємом інформації, тощо. В таких умовах 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 ціллю 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.

**Мета статті.** Розробка та апробація процедури нечіткого регресійного аналізу з комбінованим критерієм, що відображає одночасно і степінь нечіткості і степінь близькості регресії до вихідних даних.

**Основні матеріали дослідження.** Параметр  $y$ , заданий у вигляді трикутного нечіткого числа, визначається кортежем з трьох чисел

$$y = \langle y_{min}, y_{cp}, y_{max} \rangle_x.$$

Степінь близькості трикутних нечітких чисел можна оцінити по перетину їх функцій приналежності

$$S = y_1 \cap y,$$

де  $y_1$  – оцінка. Перетин нечітких чисел в загальному випадку має функцію приналежності що відрізняється від трикутної (на рис. 1 виділено жирним) і мати висоту  $h \neq 1$ . Чисельно перетин трикутних нечітких чисел відображує площа фігури під функцією приналежності перетину

$$S_{\cap} = S_{\Delta} \cap S_{\Delta i}.$$

Отже, якщо ми маємо  $n$  значень параметру  $y$  при різних значеннях  $x$ , то степінь близькості оцінок та вихідних даних буде відображати величина

$$S_{\cap} = \sum_{i=1}^n S_{\cap i}.$$

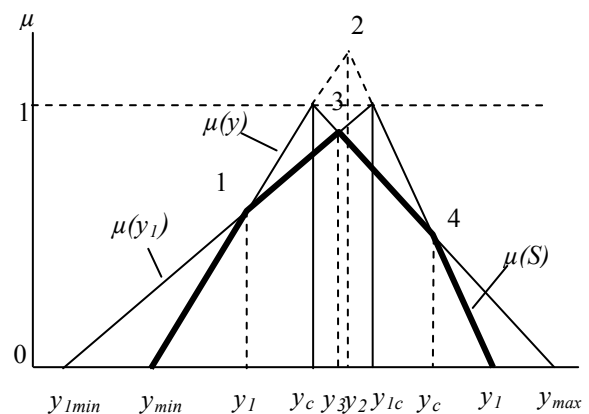


Рисунок 1 – Перетин трикутних нечітких чисел.

Однак величина  $S_{\cap}$  не може бути самостійним критерієм для підбору коефіцієнтів регресії, оскільки максимум  $S_{\cap}$  відповідає максимуму  $S_{\Delta i}$ , що приведе до збільшення степені нечіткості регресії.

Тому пропонується критерій, що враховує як степінь близькості оцінок до вихідних даних, так і степінь нечіткості:

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

Оскільки характер даної цільової функції априорі не визначається, до того ж регресія може бути і нелінійною, то для здійснення процесу пошуку коефіцієнтів регресії можна застосувати алгоритм пошуку глобального оптимуму, наприклад, просторової сітки зі змінним кроком, як досить простий та такий що абсолютно сходиться із заданою точністю.

Описану методику апробовано на розв'язанні задачі прогнозу електроспоживання бензозаправної станції.

Бензозаправна станція обладнана АСКОЕ, що реєструє електроспоживання кожні півгодини. Ставиться завдання отримати прогноз електроспоживання у будь-яку годину будь-якого дня року. Для отримання регресії використано дані по електроспоживанню протягом попереднього року.

В процесі регресійного аналізу використовуються лінійні та квадратичні функції, перевага віддається тій, при якій досягається мінімум критерію. На основі попереднього аналізу обрано загальний вид функції регресії. Вона періодична і має розриви. В даному дослідженні змінними регресії обрано: номер місяця, номер дня, година дня.

Сам алгоритм багатоступеневий з поетапним отриманням коефіцієнтів регресії. За основу обрано метод просторової сітки зі змінним кроком.

$$t_1 = 0,002831 m^2 - 0,03642 m + 0,352833,$$

$$t_2 = - 0,00586 m^2 + 0,073236 m + 0,615855.$$

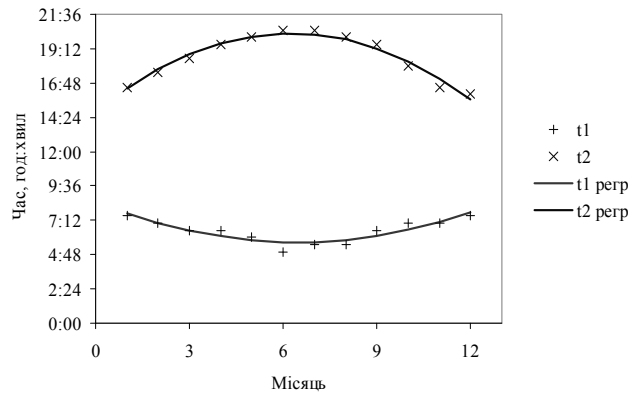


Рисунок 2 – Точки розриву функції регресії.

На першому етапі отримано регресійні залежності точок розриву функції електроспоживання  $t_1$ ,  $t_2$  (рис. 2). На цьому етапі застосовано традиційну квадратичну регресію оскільки, проміжок часу від  $t_1$  до  $t_2$  – корельоє з довжиною світлового дня, відповідно залежить від номера місяця і містить незначну степінь невизначеності.

На другому етапі окремо отримані регресійні нечіткі залежності для електроспоживання всередині інтервалу часу від  $t_1$  до  $t_2$  і зовні.

$$W = \langle W_{\min}, W_{\text{cp}}, W_{\max} \rangle.$$

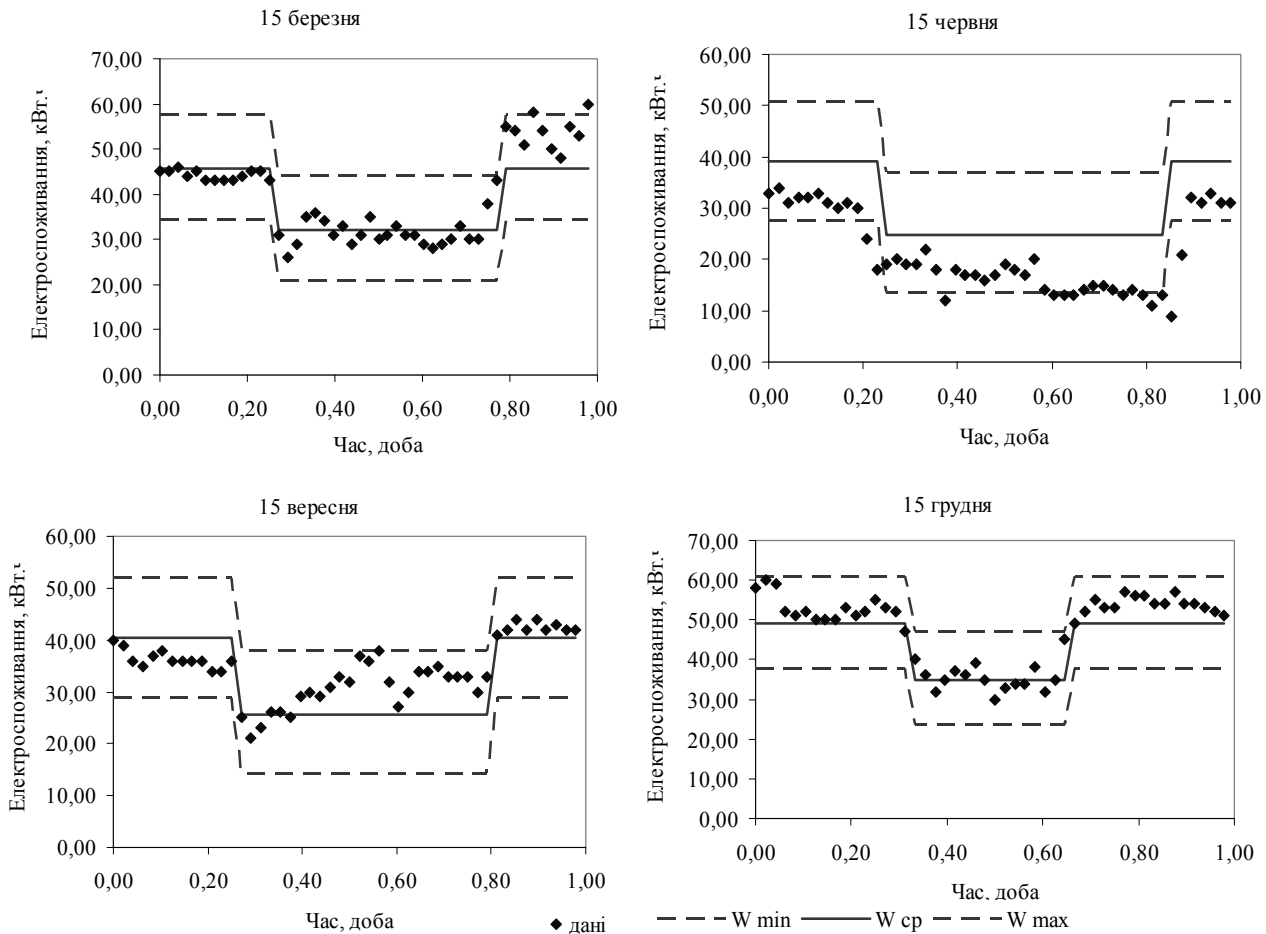


Рисунок 3 – Прогнозна нечітка залежність електроспоживання від дати і часу

В результаті обробки отримано наступну залежність електроспоживання від заданої дати і часу, що дозволяє отримати прогноз у вигляді трикутного нечіткого числа

При  $t_1 < t < t_2$

$$W = \langle 0,011027, 0,004559, -0,00559 \rangle d^2 + \langle -0,27256, -0,06486, 0,305195 \rangle d + 0,456144 m^2 - 6,5489 m + \langle 37,94007, 47,539799, 56,598613 \rangle,$$

а при  $t_1 > t, t > t_2$

$$W = \langle 0,013117, 0,006223, -0,00222 \rangle d^2 + \langle -0,38749, -0,15861, 0,149349 \rangle d + 0,431666 m^2 - 6,5489 m + \langle 51,56088, 61,160609, 70,219423 \rangle.$$

З застосуванням принципу узагальнення Заде отримуємо залежності для характерних параметрів трикутних нечітких чисел в розгорнутому вигляді

При  $t_1 < t < t_2$

$$W_{\min} = 0,011027 d^2 - 0,27256 d + 0,456144 m^2 - 6,5489 m + 37,94007,$$
$$W_{\text{cp}} = 0,004559 d^2 - 0,06486 d + 0,456144 m^2 - 6,5489 m + 47,539799,$$
$$W_{\max} = -0,00559 d^2 + 0,305195 d + 0,456144 m^2 - 6,5489 m + 56,598613,$$

а при  $t_1 > t, t > t_2$

$$W_{\min} = 0,013117 d^2 - 0,38749 d + 0,431666 m^2 - 6,09371 m + 51,56088,$$
$$W_{\text{cp}} = 0,006223 d^2 - 0,15861 d + 0,431666 m^2 - 6,09371 m + 61,160609,$$
$$W_{\max} = -0,00222 d^2 + 0,149349 d + 0,431666 m^2 - 6,09371 m + 70,219423.$$

Де  $m$  – номер місяця,  $d$  – номер дня в місяці,  $t$  – година дня (відносно доби).

Таким чином, задавши місяць, отримуємо значення  $t_1, t_2$ , далі задавши день і годину можна отримати нечіткий прогноз електроспоживання у вигляді трикутного нечіткого числа.

На рис. 3 наведено приклади розрахунку добового електроспоживання для декількох дат.

Застосовуючи наведену методику, можна отримати нечіткі регресійні залежності і в іншому вигляді. Наприклад, календарні параметри (місяць, день) можна замінити на метеорологічні (температура, вологість повітря, тощо), а годину протягом доби – замінити на показник освітленості. Але для цього потрібні дані реєстрації цих параметрів. Причому, оскільки регресія нечітка, то можна використовувати заміри метеоумов що нескоординовані з замірами електроспоживання.

**Висновки.** Таким чином, прогнозування електроспоживання за допомогою нечіткого регресійного аналізу з модифікованим критерієм дозволяє отримати результат при наявності невизначеності різних типів у вихідних даних, може використовуватись замість стандартного регресійного аналізу, оскільки цей апарат є більш загальним.

Також апарат нечіткого регресійного аналізу завдяки своїй узагальнюючій властивості може застосовуватись і до детермінованих вихідних даних, а також до будь-яких комбінацій детермінованих даних та даних що несуть невизначеність.

Запропонований метод пошуку коефіцієнтів регресії не накладає ніяких обмежень на вид регресійної залежності. Відповідно вид регресійної залежності можна обирати як поліноміальним, так і іншим. В останньому випадку можна задавати їх вид неформально.

#### Список використаних джерел

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. – 2003. – №1. – С. 33–39.

#### Аннотация

### ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОГО РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА

Тимчук С. А., Катюха И. А.

*Предложена методика долгосрочного прогноза электропотребления на основе применения нечеткого регрессионного анализа с комбинированным критерием, который учитывает как степень близости оценок к исходным данным, так и степень нечеткости. Методику проиллюстрировано на конкретном примере прогноза электропотребления предприятием в течение года.*

#### Abstract

### POWER CONSUMPTION PREDICTION BASED ON FUZZY REGRESSION ANALYSIS

S. Tymchuk, I. Katyukha

*The technique of the long-term prediction of power consumption through the use of fuzzy regression analysis with a combined measure criterion that takes into account the degree of proximity to the source data estimates and the degree of fuzziness. Method is illustrated by a concrete example of the forecast electricity company during the year.*