

## НЕЧІТКА ОЦІНКА НЕСИМЕТРИЧНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ СІЛЬСЬКИХ МЕРЕЖ 0,38/0,22 КВ

Тимчук С. О., Мірошник О. О., Свергун Ю. Ф., Авраменко А. Є.

Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка

Запропоновано методика по оцінці показників якості електричної енергії в нечіткій формі, що дозволяє відслідковувати зміну якості електроенергії, проводити аналіз динаміки зміни показників якості та визначати попереджувальні заходи щодо нормалізації якості електроенергії, досить просто інтегруватися в автоматизовану систему контролю обліку електроспоживання.

**Постановка проблеми.** Наявність несиметричних режимів роботи сільської мережі 0,38/0,22кВ приводить до погіршення якості електричної енергії, яке є одним з параметром електричної сумісності мережі та споживачів. Саме поняття "якісна електроенергія" по суті несе лінгвістичну невизначеність.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для розкриття даної невизначеності в рамках детермінованого походу в [1] встановлено два види норм якості електроенергії для нормальних і граничних режимів, які нормуються рядом показників. Введені норми розкривають невизначеність самого поняття шляхом визначення на числовій осі множини значень для кожного показника якості електроенергії (ПЯЕ), які відповідають поняттю "якісна електроенергія". У результаті з однієї сторони задача оцінки якості електроенергії спрощується до бінарного логічного висновку, а з іншого боку ускладнюються умови визначення та оцінки показників якості, а спрощення, що пов'язані з детермінізацією, породжують проблеми погіршностей, точності, адекватності.

Крім того, якість електроенергії не є постійною в часі оскільки прямо залежить від змінного навантаження [2]. Ця зміна містить невизначеність, близьку до випадковості. В [1] цей вид невизначеності вирішується введенням періоду вимірювань параметрів електроенергії, що дорівнює 24 г. Даний спосіб детермінізації допускає, що за встановлений строк інтеграл імовірності випадкових параметрів мережі буде близький до 1 і на основі статистичного аналізу можна визначити математичне очікування зазначених параметрів і використовувати їх для визначення показників якості в детермінованій формі.

**Мета статті.** Розробити методика по оцінці показників якості електричної енергії в нечіткій формі.

**Основні матеріали дослідження.** При такому підході можна зробити висновок про відповідність будь-якого показника якості встановленим нормам, але не представляється можливим визначити щільність розподілу значень показника в нормованому інтервалі. Це суттєво знижує інформативність оцінки якості електроенергії, не дозволяє повною мірою відстежити динаміку зміни показника якості та попередити його можливе погіршення.

Зазначених недоліків можна уникнути, застосувавши нечіткий підхід при оцінці показника якості електроенергії. Оскільки нечіткий підхід є більш загальним у порівнянні з детермінованим, він дозволить не тільки не порушити вимоги ДСТУ 13109-97, але й використовувати їх.

Несиметрія напруг характеризується коефіцієнтами несиметрії напруг по зворотній та нульовій послідовності [1, 3]. Норми допустимих значень даних коефіцієнтів можуть бути представлені нечіткими множинами з функціями приналежності наступного виду:

$$\begin{aligned} \mu_{K_{2U-n}} &= \max \left\{ 0, \min \left\{ 1, \frac{4 - K_{2U}}{2} \right\} \right\} \\ \mu_{K_{0U-n}} &= \max \left\{ 0, \min \left\{ 1, \frac{4 - K_{0U}}{2} \right\} \right\}, \end{aligned} \quad (1)$$

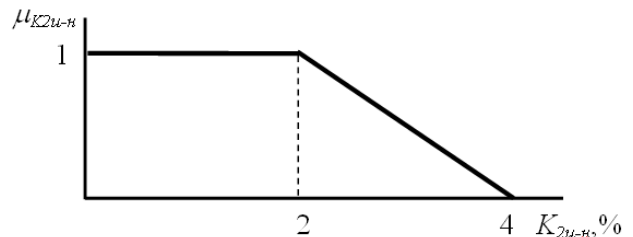


Рисунок 1 – Вираз (1) у графічній формі

Нижченаведені формули для визначення коефіцієнтів несиметрії напруг розроблені з використанням методики, наведеної в [1].

Визначення коефіцієнта несиметрії напруг по зворотній і нульовій послідовності  $K_{2U}$ ,  $K_{0U}$  здійснюється згідно з методикою, наведеною в [1].

Визначають значення коефіцієнта несиметрії напруг по зворотній послідовності  $K_{2U}$  у відсотках як результат усереднення  $N$  спостережень  $K_{2U_i}$  на інтервалі часу  $T_{vs}$ , що дорівнює 3 с. Вимірювання проводяться протягом 24 г. Отримана множина апроксимується нечіткою множиною  $\Delta K_{2U}$  з функцією приналежності

$$\mu_{\Delta K_{2U}} = \max \left\{ 0, \min \left\{ \frac{K_{2U} - K_{2U \min}}{K_{2U \max} - K_{2U \min}}, \frac{K_{2U \max} - K_{2U}}{K_{2U \max} - K_{2U \min}} \right\} \right\}, \quad (2)$$

де

$$K_{2U \max} = \max_{\Delta K_{2U}} \{K_{2U_j}\}, \quad K_{2U \min} = \min_{\Delta K_{2U}} \{K_{2U_j}\}, \quad (3)$$

$$K_{2Um} = \frac{\sum_{j=1}^{N_A} \mu_{K_{2Uj}} K_{2Uj}}{\sum_{j=1}^{N_A} \mu_{K_{2Uj}}}$$

тут  $\mu_{K_{2Uj}}$  – функція приналежності (ступінь довіри)  $K_{2Uj}$  множині  $\Delta K_{2U}$ .

Аналогічно для  $K_{0U}$ .

$$\mu_{\Delta K_{0U}} = \max \left\{ 0, \min \left\{ \frac{K_{0U} - K_{0U \min}}{K_{0Um} - K_{0U \min}}, \frac{K_{0U \max} - K_{0U}}{K_{0U \max} - K_{0Um}} \right\} \right\}, \quad (4)$$

де

$$K_{0U \max} = \max_{\Delta K_{0U}} \{K_{0Uj}\}, K_{0U \min} = \min_{\Delta K_{0U}} \{K_{0Uj}\},$$

$$K_{0Um} = \frac{\sum_{j=1}^{N_A} \mu_{K_{0Uj}} K_{0Uj}}{\sum_{j=1}^{N_A} \mu_{K_{0Uj}}}, \quad (5)$$

де  $\mu_{K_{0Uj}}$  – функція приналежності (ступінь довіри)  $K_{0Uj}$  множині  $\Delta K_{0U}$ .

Значення  $\mu_{K_{2Uj}}$ ,  $\mu_{K_{0Uj}}$  можуть бути визначені неформально, що небажано, оскільки суб'єктивізм може спотворити реальну картину. Більш об'єктивно дані параметри можна одержати, наприклад, з використанням апарата математичної статистики. Скажімо, діапазон  $\{\Delta K_{2U \min}, \Delta K_{2U \max}\}$  розбити на  $N_d$  інтервалів, визначити частоту попадання  $K_{2Uj}$  у відповідні інтервали. Значення даних частот, віднесені до максимального значення частоти, можна взяти в якості  $\mu_{K_{2Uj}}$ .

Ступінь відповідності нечітких значень коефіцієнтів несиметрії напруг нечітким нормам можна оцінити по їхньому перетину

$$S = S_{HKЭ} \cap S_{PKЭ}. \quad (6)$$

На рис. 2  $H$ ,  $\Pi$  – відповідно норма та показник якості, індекси  $n$ ,  $m$ ,  $v$ ,  $nv$  – відповідно, низьке, модальне значення, високе, гранично високе.

Перетинання нечітких чисел у загальному випадку має функцію приналежності, відмінну від трикутної (рис. 2) і висоту  $h \neq 1$ . Чисельно перетинання нечітких чисел можна оцінити по площі фігури, що утворена функцією приналежності перетинання. Тоді функція приналежності відповідності нечіткого коефіцієнта несиметрії напруг нечітким нормам може бути представлена у вигляді

$$\mu_{KЭ} = S / S_{HKЭ}. \quad (7)$$

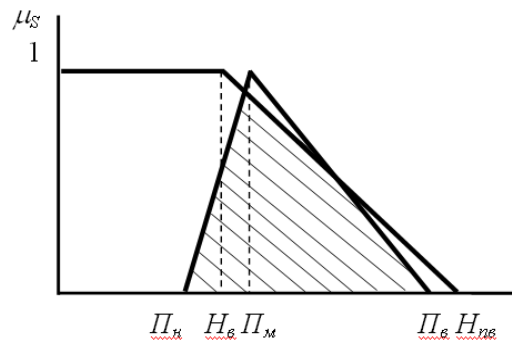


Рисунок 2 – Перетинання нечіткого числа та нечіткого інтервалу

Таким чином, маючи залежності для розрахунків функцій приналежності нечітких норм несиметрії напруг (1) і розраховані з використанням вимірів функції приналежності коефіцієнтів несиметрії напруг (2) – (5), використовуючи (7) одержимо оцінку відповідності нечітких коефіцієнтів несиметрії напруг нечітким нормам.

Наведена методологія досить просто реалізується програмно. Наприклад, у вигляді макросів або формальних розрахункових схем у табличному процесорі Excel. Її можна інтегрувати в систему АСКОЕ та контролювати ЯЕ постійно.

Розглянемо реальний приклад. Візьмемо фрагмент реєстрації даних АСКОЕ. Значення напруг зворотної та нульової послідовності, а також коефіцієнти несиметрії отримані з використанням наведених в [1] формул.

Розрахункова схема (2) – (5), (7) реалізована в Excel.

Для визначення функцій приналежності нечітких значень коефіцієнтів несиметрії діапазони значень цих параметрів були розбиті на 20 інтервалів, на кожному з інтервалів визначені частоти попадання в них значень коефіцієнтів несиметрії. Дані частоти пронормовані і на їх основі отримані значення функцій приналежності коефіцієнтів несиметрії  $\mu_{K_{2Uj}}$ ,  $\mu_{K_{0Uj}}$  (рис. 3). Використовуючи залежності (2) – (5) дані нечіткі множини приведені до виду трикутних нечітких чисел (рис. 3 та рис. 4).

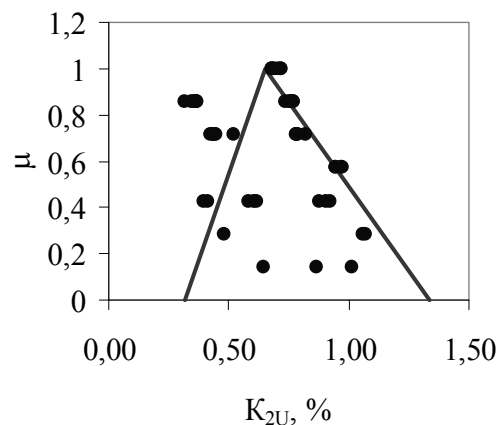


Рисунок 3 – Представлення коефіцієнта зворотної послідовності напруги у вигляді нечітких множин

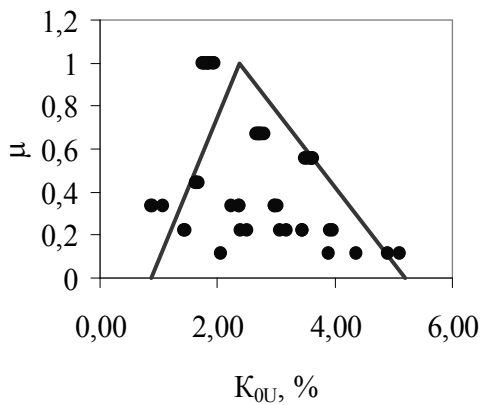


Рисунок 4 – Представлення коефіцієнта нульової послідовності напруги у вигляді нечітких множин

За допомогою нескладних обчислень визначені площі перетинів нечіткої норми коефіцієнтів несиметрії визначених за формулами (1.1) і їх нечіткі значення (рис. 5).

За формулою (1.7) визначені функції приналежності відповідності нечітких коефіцієнтів несиметрії напруг нечітким нормам

$$\mu_{K_{2U}} = 1, \mu_{K_{0U}} = 0,648. \quad (8)$$

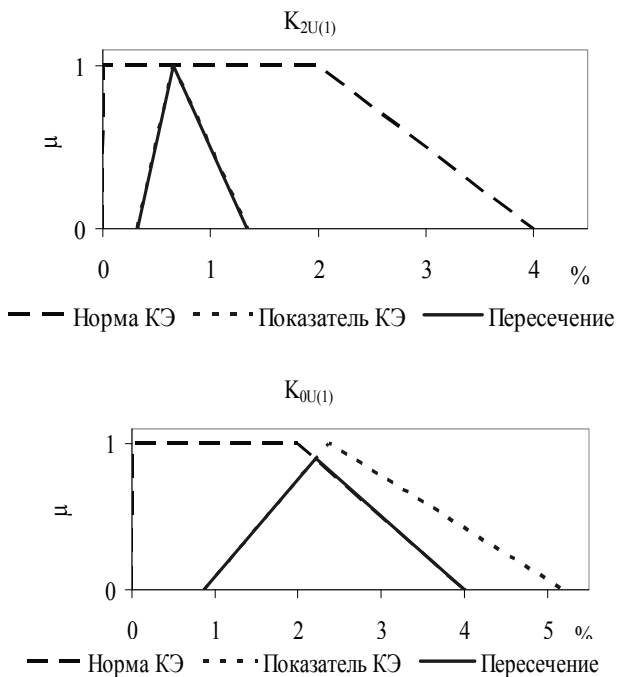


Рисунок 5 – Ступінь відповідності нечітких значень коефіцієнтів несиметрії напруг нормам

Отриманий результат свідчить про відповідність нормам коефіцієнта  $K_{U(2)}$ , і не відповідності коефіцієнта  $K_{U(0)}$ .

**Висновок.** У порівнянні з детермінованою методикою [1], яка призначена скоріше для фіксації наявності неякісної електроенергії та визначення заходів щодо нормалізації ЯЕ по факту, розроблена методологія дозволяє відслідковувати зміну якості електроенергії, проводити аналіз динаміки зміни ПЯЕ та ви-

значати попереджувальні заходи щодо нормалізації ЯЕ, досить просто інтегруватися в АСКОЕ. Застосування нечіткого підходу суттєво спростить розв'язання проблеми обліку різного роду погрешностей, що характерні для детермінованого підходу при оцінці якості електроенергії. Слід відмітити, що представлений варіант нечіткої оцінки якості електроенергії може бути розвинуто у бік більш детального аналізу із залученням схем нечіткого логічного висновку.

#### Список використаних джерел

1. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения: ГОСТ 13109-97. - [Введен 1999-01-01]. - М.: Госстандарт РФ, 1997. - 33 с.
2. Наумов И. В. Исследование показателей качества электрической энергии в распределительных сетях 0,38 кВ пригородных хозяйств / И. В. Наумов, Г. В. Лукина, С. В. Сукьясов, С. В. Подьячих // Иркутск, 2002. – С. 19-21
3. Наумов И. В. Экспериментальное исследование показателей качества электрической энергии при несимметричной нагрузке на физической модели распределительной сети 0,38 кВ / И. В. Наумов, С. В. Сукьясов // Иркутск, 2002. - С. 243-246.

#### Аннотация

### НЕЧЕТКАЯ ОЦЕНКА НЕСИММЕТРИЧНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СЕЛЬСКИХ СЕТЕЙ 0,38/0,22 КВ

Тимчук С. А., Мирошник А. А., Свергун Ю. Ф., Авраменко А. Е.

*Предложена методика по оценке показателей качества электрической энергии в нечеткой форме, которая позволяет отслеживать изменение качества электроэнергии, проводить анализ динамики изменения показателей качества и определять предупредительные мероприятия по нормализации качества электроэнергии, просто интегрироваться в автоматизированную систему контроля учета электропотребления.*

#### Abstract

### FUZZY EVALUATION OF RURAL UNBALANCED NETWORKS 0.38 / 0.22 KW

S. Tymchuk, O. Miroshnyk, U. Svergun, A. Avramenko

*Methodology is offered as evaluated by the index of quality of electric energy in fuzzy form, that allows to watch the change of quality of electric power, conduct the analysis of dynamics of change of indexes of quality and determine preventive measures on normalization of quality of electric power, it is simple to be integrated in account of electro-consumption control system.*