

# НАЛАШТУВАННЯ НЕЧІТКОЇ МОДЕЛІ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ МАСЛОНАПОВНЕНИХ ВВОДІВ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ХАРГ

**Ширьов М.О., магістрант, Болотний М.П., к.т.н., ст. викл., Бондаренко В.І., ст. викл.**  
*КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра відновлюваних джерел енергії*

**Вступ.** Проведений статистичний аналіз даних функціонування сучасних електроенергетичних системах світу показує високу частку пошкоджуваності силових масляних трансформаторів (СТ) напругою 110 кВ і вище [1]. З метою підвищення ефективності оцінки технічного стану СТ необхідна розробка або вдосконалення математичних моделей ідентифікації дефектів функціональних вузлів СТ для забезпечення надійного режиму електропостачання відповідальних споживачів енергосистеми.

**Метою роботи** є налаштування параметрів нечіткої моделі оцінки технічного стану СТ на основі даних вимірювання ХАРГ високовольтних вводів.

**Матеріали і результати досліджень.** Для виконання процедури налаштування параметрів розробленої нечіткої моделі оцінки технічного стану високовольтних вводів СТ за результатами ХАРГ представлено наступні вхідні лінгвістичні змінні відношень концентрацій газів з відповідними термами, представленими на рис.1:  $A_1 = \{L_1, M_1, B_1\}$  -  $CH_4/H_2$ ;  $A_2 = \{L_2, M_2, B_2\}$  -  $C_2H_2/C_2H_4$ ;  $A_3 = \{L_3, M_3, B_3\}$  -  $C_2H_4/C_2H_6$ , де  $L, M, B$  - низьке, середнє, високе значення відношень концентрацій газів, розчинених в трансформаторній оливі відповідно.

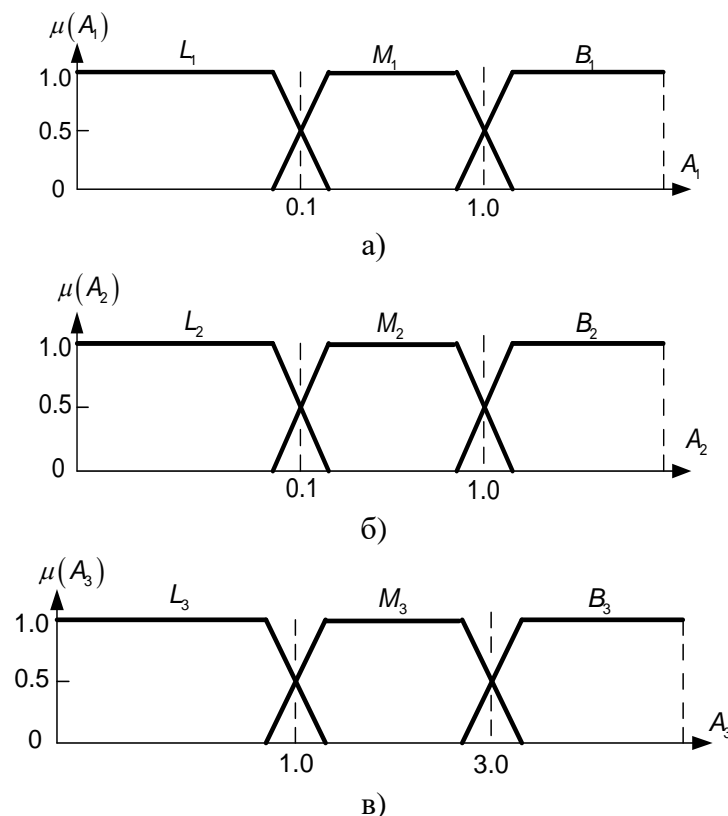


Рисунок 1 – Функції належності для лінгвістичних змінних:

а)  $CH_4/H_2$ ; б)  $C_2H_2/C_2H_4$ ; в)  $C_2H_4/C_2H_6$ .

На основі діагностичних критеріїв ХАРГ методикою Роджерса [2] була сформована нечітка база знань для оцінки технічного стану високовольтних вводів СТ за результатами ХАРГ містить 6 продукційних правил, зведених в табл. 1.

Таблиця 1 – Нечітка база знань для визначення характеру дефектів, що розвиваються у високовольтних вводах СТ

Найменування відношень пар газів			Характер прогнозованого дефекту	Терм-множина дефектів
$A_1 = CH_4 / H_2$	$A_2 = C_2H_2 / C_2H_4$	$A_3 = C_2H_4 / C_2H_6$		
$L_1$	$L_2$	$L_3$	Норма	$D_1$
$L_1$	$L_2, M_2$	$L_3$	Розряд низької щільності, іскріння	$D_2$
$L_1, M_1$	$L_2, M_2$	$B_3$	Розряд високої щільності, електрична дуга	$D_3$
$L_1$	$L_2, M_2$	$M_3$	Термічний дефект $t < 300$ °C	$D_4$
$L_1$	$B_2$	$M_3$	Термічний дефект $t = 300 \dots 700$ °C	$D_5$
$L_1$	$B_2$	$B_3$	Термічний дефект $t > 700$ °C	$D_6$

Використовувані в нечіткій моделі критеріальні значення параметрів є середньо статистичними для великої сукупності силових трансформаторів, що експлуатуються в ЕЕС. Реальні умови експлуатації кожного конкретного СТ можуть відрізнятись від регламентованих.

Це потребує адаптації розроблених нечітких моделей до реальних умов експлуатації шляхом налаштування їх параметрів. Налаштування нечіткої моделі здійснюється за допомогою чіткої навчальної вибірки, представленої масивом експериментальних даних "входи-вихід". В результаті налаштування моделі помилка ідентифікації відповідає заданій умові:

$$R = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \left( y_i - f(\bar{x}_i, \bar{w}, \bar{c}, \bar{b}) \right)^2} \rightarrow \min,$$

де  $M$  – кількість пар експериментальних даних  $(\bar{x}_i, y_i)$ ;  $\bar{w}$  – вектор вагових коефіцієнтів в нечітких правилах;  $\bar{c}, \bar{b}$  – вектори параметрів функцій належності нечітких термів бази знань.

*Результати тестового моделювання.* Параметрична ідентифікація оптимальних значень функцій належності вищезазначених нечітких термів розробленої нечіткої моделі виконувалось в програмному середовищі MatLab за допомогою методу нелінійної оптимізації, представленого в пакеті Optimization Toolbox. В табл. 2 представлено склад навчальної вибірки для процедури налаштування параметрів нечіткої моделі оцінки технічного стану високовольтного вводу за результатами ХАРГ. На рис.2 представлено

результати моделювання налаштованої нечіткої моделі оцінки технічного стану високовольтного вводу СТ за результатами ХАРГ на навчальній вибірці.

Таблиця 2 – Склад навчальної вибірки для налаштування параметрів нечіткої моделі оцінки технічного стану високовольтного вводу СТ за результатами ХАРГ

№ п/п	Характер прогнозованого дефекту	Кількість прикладів з визначеним дефектом
1	Норма	425
2	Розряд низької щільності, іскріння	50
3	Розряд високої щільності, електрична дуга	50
4	Термічний дефект $t < 300$ °С	50
5	Термічний дефект $t = 300 \dots 700$ °С	50
6	Термічний дефект $t > 700$ °С	50

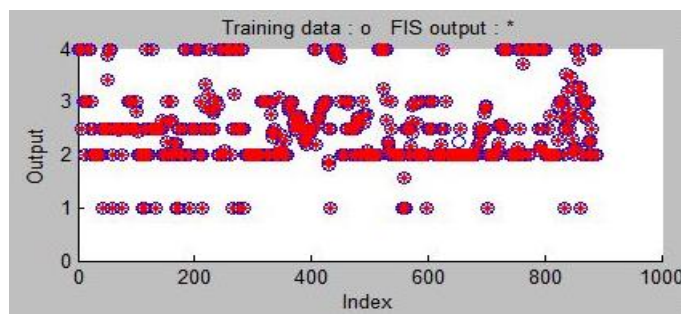


Рисунок 2 – Результати моделювання налаштованої нечіткої моделі оцінки технічного стану високовольтного вводу СТ за результатами ХАРГ на навчальній вибірці 0,009735%

**Висновок.** Представлена процедура налаштування нечіткої моделі оцінки технічного стану високовольтного вводу СТ має кілька потенційних обмежень. По-перше, адекватна побудова валідних правил бази знань потребує досить великої вибірки прикладів-діагнозів (для проведення формальних процедур пошуку взаємозв'язків та кореляцій). По-друге, зазначена процедура чутлива до розмірів та змісту навчальної, тестової та валідаційної вибірки. Таким чином, розглянута процедура налаштування нечіткої моделі оцінки технічного стану високовольтного вводу СТ дозволяє підвищити точність ідентифікації дефектів маслонаповнених високовольтних ввідів СТ за результатами ХАРГ.

#### Перелік посилань

1. Славинский А.З., Устинов В.Н. Диагностика и ремонт высоковольтных вводов // Методы и средства оценки состояния энергетического оборудования. Вып. 30: Методические основы и практический опыт инфракрасного термографического обследования энергетического оборудования, зданий и сооружений. Современные проблемы производства, эксплуатации и ремонта трансформаторного оборудования. – СПб.: ПЭИПК, 2006. – 444 с.
2. IEC 61464: Insulating bushing – Guide for interpretation of dissolved gas analysis in bushings where oil is the impregnating medium of the main insulation. - 1998.