

## ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СТ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ХАРГ НА ОСНОВІ МЕТОДУ БАЙЄСА

**Бардик Є.І., к.т.н., доц., Федіна А.Ю., студент**  
*КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра електричних станцій*

**Вступ.** На сьогоднішній день хроматографічний аналіз розчинених газів (ХАРГ) є одним з основних методів діагностування технічного стану силового трансформатора (СТ). За результатами ХАРГ ідентифікується більше ніж 70% дефектів СТ до яких перш за все слід віднести: часткові розряди, іскрові розряди, дугові розряди, низькотемпературне, середньотемпературне та високотемпературне нагрівання [1]. Разом з цим за результатами ХАРГ не завжди можна однозначно стверджувати щодо наявності дефекту, його характеру і рівня розвитку, формувати відповідні дії.

**Постановка задачі.** В реальній практиці експлуатації, СТ можливі наступні чотири варіанти станів (табл. 1).

Таблиця 1 – Варіанти експлуатаційних станів СТ

Стан	Граничні концентрації газів перевищені	Наявність дефекту
$D_1$	ні	ні
$D_2$	так	ні
$D_3$	ні	так
$D_4$	так	так

Найбільш часто СТ знаходиться в стані  $D_2$ , коли при відсутності дефекту має місце перевищення граничних концентрацій окремих газів. Однією з причин є те, що в якості граничних концентрацій газів зазвичай використовуються дані [1]. Насправді реальні значення граничних концентрацій газів не є постійними. До інших причин, які обумовлені неаварійними процесами в самому трансформаторі слід віднести: перенапруги; перевантаження; перетік газів розширювача контактора РПН; природне старіння ізоляції. До причин викликаних впливами зовнішніх факторів відносять: часткова відмова системи охолодження; доливання старого масла; тривале перевищення середньодобової температури; тривала сонячна радіація; попадання газів з навколишнього середовища; підвищення атмосферного тиску; вплив геотермальних струмів [2].

Очевидно, що найбільш достеменно діагностувати технічний стан СТ можливо на основі врахування всіх вищеперерахованих факторів та комплексу всіх діагностичних ознак. Одним з ефективних методів аналізу стану СТ на основі даних технічної діагностики є метод Байєса [2, 3].

**Мета роботи.** Сформувати систематичну модель діагностування технічного стану СТ на основі ХАРГ за методом Байєса з урахуванням неоднозначності результатів вимірювань.

**Матеріали і результати досліджень.** Узагальнена формула Байєса для оцінки стану об'єкту  $D_i$  при різних сполученнях ознак має вид:

$$P(D_i/K) = \frac{P(D_i) \times P(K/D_i)}{\sum_{i=1}^n P(D_i) \times P(K/D_i)}$$

де  $K$  – комплекс двох розрядних ознак  $\{K_1, K_2, \dots, K_v\}$ ;  $n$  – число діагнозів стану;  $P(D_i)$  – попередня імовірність діагнозу;  $P(D_i/K)$  – імовірність діагнозу  $D_i$  після того як стали відомі результати обстеження за комплексом ознак  $K$ ;  $P(K/D_i)$  – імовірність проявлення ознак в діагнозі  $D_i$ . В [2,3] відмічається, що в більшості практичних задач, особливо при великій кількості ознак, можна прийняти умови незалежності ознак навіть за наявності суттєвих кореляційних зв'язків між ними. Тому

$$P(K/D_i) = P(K_1/D_i) \times P(K_2/D_i) \times \dots \times P(K_v/D_i)$$

де  $K$  – множина двох розрядних ознак  $\{K_1, K_2, \dots, K_v\}$ .

При послідовному розгляданні різних комбінацій факторів збільшення значення  $P(D_i/K)$  свідчить про високу імовірність події  $D_i$ ; а зниження – про його практичну нереалізуємість. Якщо ознаки розглядати, як двохрозрядні, то в діагностичній матриці кожна ознака  $K_j = (K_{j1}, K_{j2})$ , де  $K_{j1}$  – проявлення ознаки;  $K_{j2}$  – не проявлення ознаки. Імовірності проявлення або не проявлення визначаються статистичним шляхом і можуть бути представлені відповідними функціями розподілу.

Для розрахунку імовірностей станів СТ на основі даних ХАРГ, а також імовірностей проявлення і не проявлення ознак в якості останніх зазвичай використовують такі гази: метан ( $CH_4$ ), вуглекислий газ ( $CO_2$ ), етилен ( $C_2H_4$ ), ацетилен ( $C_2H_2$ ), етан ( $C_2H_6$ ), водень ( $H_2$ ), угарний газ ( $CO$ ).

Для підтвердження вищесказаного виконаємо розрахунок імовірності станів СТ на основі ХАРГ. Нехай СТ знаходиться в справному стані  $D_1$  із імовірністю 0,9. Два інших стани  $D_2$  і  $D_3$  характеризують наявність дефектів і мають однакову імовірність рівну 0,05. Для діагностування системи використовуються три двохрозрядних ознаки  $K_1, K_2$  і  $K_3$  – три гази, що виявляються в маслі на основі ХАРГ. Причому перший розряд кожної ознаки відповідає нормальній концентрації газу, а другий – підвищеній. На основі статистичних даних відомі імовірності значень ознак. Наприклад газ  $K_1$  в справному стані СТ не перевищує граничного значення з імовірністю 0,9 і відповідно з імовірністю 0,1 перевищує граничне значення для справного стану  $D_1$  СТ в силу вищеперерахованих причин.

В таблиці 2 представлені відповідні вихідні значення для  $P(K_{1j}/D_i)$ ,  $P(K_{2j}/D_i)$  та  $P(D_i)$ , а результати розрахунків імовірностей станів СТ наведено в таблиці 3.

Таблиця 2 – Вихідні дані для оцінки ТС СТ за методом Байєса

Діагноз $D_i$	Ознаки $K_j$						$P(D_i)$
	$K_1$		$K_2$		$K_3$		
	$P(K_{11}/D_i)$	$P(K_{12}/D_i)$	$P(K_{21}/D_i)$	$P(K_{22}/D_i)$	$P(K_{31}/D_i)$	$P(K_{32}/D_i)$	
$D_1$	0,92	0,08	0,72	0,28	0,77	0,23	0,88
$D_2$	0,018	0,82	0,17	0,83	0	1	0,06
$D_3$	0,11	0,89	0,02	0,98	0,42	0,58	0,06

Таблиця 3 – Результати діагностування СТ на основі методу Байєса

	Вихідні значення ознак	Імовірності станів		
		$D_1$	$D_2$	$D_3$
1	$K_1 K_2 K_3$	0,999	0	0,0001
2	$\overline{K_1} K_2 K_3$	0,99	0	0,01
3	$K_1 \overline{K_2} K_3$	0,98	0	0,02
4	$K_1 K_2 \overline{K_3}$	0,975	0,022	0,003
5	$\overline{K_1} \overline{K_2} K_3$	0,53	0	0,469
6	$\overline{K_1} K_2 \overline{K_3}$	0,633	0,336	0,031
7	$K_1 \overline{K_2} \overline{K_3}$	0,823	0,125	0,052
8	$\overline{K_1} \overline{K_2} \overline{K_3}$	0,09	0,51	0,401

За результатами тестових розрахунків можна зробити висновок, що при перших чотирьох сполученнях ознак можна однозначно стверджувати про справний стан СТ (стан  $D_1$ ). Для випадку сполучення ознак  $\overline{K_1} \overline{K_2} \overline{K_3}$  наявність дефекту є беззаперечним. Разом з цим для уточнення дефектів  $D_2$  і  $D_3$  та ідентифікації станів у випадку 5 – 7 потрібно врахувати інші фактори впливу та залучити додаткову інформацію.

**Висновки.** 1. Для достеменної оцінки технічного стану СТ на основі ХАРГ необхідно враховувати низку причин, зумовлених неаварійними процесами і зовнішніми факторами. 2. Для визначення імовірностей діагнозів технічного стану СТ запропоновано використання методу Байєса, який дає можливість врахувати увесь комплекс діагностичних ознак.

#### Перелік посилань

1. Попов Г.В. Об оценке состояния силовых трансформаторов по результатам хроматографического анализа – Электро 3/2003 – с.36-40.
2. Попов Г.В., и другие. Экспертная система оценки состояния электрооборудования „Диагностика+“ – Оборудование станций и подстанций.
3. Вентцель Е.С. Теория вероятностей: Учеб. для вузов. – 6-е изд.стер. – М.: Высш. шк., 1999. – 576 с.