

УДК 621.314.212

## РОЗПІЗНАВАННЯ ТЕРМІЧНИХ ДЕФЕКТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ТРИКУТНИКІВ ДЮВАЛЯ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ АНАЛІЗУ РОЗЧИНЕНИХ В МАСЛІ ГАЗІВ

*О. С. Кулик<sup>1</sup>, О. В. Шутенко<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> аспірант кафедри «Передача електричної енергії», НТУ «ХПІ», Харків, Україна

<sup>2</sup> доцент кафедри «Передача електричної енергії», канд. техн. наук, НТУ «ХПІ», Харків, Україна

[oleksii.kulyk@ieee.khpi.edu.ua](mailto:oleksii.kulyk@ieee.khpi.edu.ua)

Аналіз розчинених в маслі газів (АРГ) є одним із методів діагностики високовольтного маслонаповненого обладнання (МНО), який широко використовується для виявлення несправностей, що зароджуються, в маслонаповненому електрообладнанні. Для розпізнавання типу дефекту обладнання, прогнозованого за результатами АРГ, використовуються як аналітичні, так і графічні методи розпізнавання. Одним з найбільш використовуваних графічних методів розпізнавання є трикутник Дюваля, розроблений ще у 1974 р. [1] відомим канадським фахівцем М. Дювалем в енергетичній компанії Hydro-Quebec. За його допомогою можна поставити діагноз, побудувавши точку на графіку, представленому у вигляді трикутника, лише за значеннями концентрацій трьох газів. Як зазначає сам автор [2], «трикутник Дюваля №1 для трансформаторів виявився досить ефективним для визначення загального типу пошкоджень, що виникають в трансформаторах, що знаходяться в експлуатації. Однак, коли результати АРГ близькі до кордону між зонами PD (часткові розряди – ЧР) і T1 (низькотемпературний дефект,  $t < 300^{\circ}\text{C}$ ), іноді може бути важко відрізнити ці два типи пошкоджень. Крім того, деякі типи присутніх на ринку масел мають тенденцію до «блукаючого газоутворення», що може з'являтися в зонах PD, T1 або T2 (тепловий дефект в діапазоні середніх температур,  $300 < t < 700^{\circ}\text{C}$ ) і, отже, перешкоджати виявленню цих пошкоджень в трансформаторах». Тому вже у 2008 р. М. Дювалем запропоновано нові версії трикутника. Трикутники Дюваля №4 і №5 були розроблені для усунення невизначеностей, пов'язаних з «блукаючим газоутворенням». Вони повинні застосовуватися тільки до пошкоджень, ідентифікованих в трикутнику Дюваля №1 як можливі дефекти ЧР або термічні дефекти, і повинні розглядатися тільки як доповнення до інформації для трикутника Дюваля №1.

В якості вихідних даних були використані результати АРГ по 52 трансформаторам, в яких виявлені термічні дефекти в різних діапазонах температур. За аналогією з [3] результати АРГ були ранжовані за типом дефекту (табл. 1). Далі для кожного з 52 трансформаторів був поставлений діагноз з використанням трьох трикутників Дюваля. Результати наведені на рис. 1.

Як видно з рис. 1 а, використання трикутника Дюваля №1 для всіх даних дозволило діагностувати термічні дефекти, тому для цих даних можливе використання трикутників №4 і №5 для уточнення типу дефекту. Причому, для масивів №3 і №5 трикутником Дюваля №1 був поставлений діагноз «високотемпературний перегрів,  $t > 700^{\circ}\text{C}$ » (Т3), а отже для цих дефектів неможливе використання трикутника №4. Для даних із масиву №1 трикутник Дюваля №1 поставив діагнози T1 та T2. Тому для цих даних не слід використовувати трикутник №5, оскільки він використовується для уточнення стану трансформаторів, в яких поставлено діагнози T2 та T3.

Однак на рис. 1 б та в також наведені результати діагностики для даних масивів. Як видно з рис. 1 б для масиву №3 трикутник №4 не зміг поставити діагноз (за винятком 1 трансформатора), а для масиву №5 поставив діагноз «перегріву,  $t < 250^\circ\text{C}$ ». А з рис. 1 в видно, що для масиву №1 трикутник №5 поставив діагнози «гарячі точки з карбонізацією паперу,  $t > 300^\circ\text{C}$ » (С) та ТЗ. До того ж, для даних з масиву №3 трикутник №5 не зміг поставити діагноз (за винятком 1 трансформатора). Таким чином, як видно з рисунків, для одних і тих же даних використання трикутників №4 і №5 не дозволило однозначно поставити точний діагноз. Виняток становлять 9 із 14 трансформаторів із масиву №1, для яких поставлено діагноз С, 8 із 9 трансформаторів із масиву №3, для яких використання трикутників №4 і №5 не дозволило поставити діагноз, та 4 із 12 трансформаторів із масиву №4, для яких поставлено діагноз С. Причиною цього є використання різних газів у кожному з трикутників.

Таблиця 1 – Відсотковий вміст газів в маслонаповненому обладнанні з перегрівом в різних діапазонах температур

| № | Тип дефекту, об'єм вибірки                       | Вміст газів, % |                 |                               |                               |                               |
|---|--|----------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
|   |  | H <sub>2</sub> | CH <sub>4</sub> | C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> | C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> | C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> |
| 1 | Перегриви з температурою менше 150°C. N=14       | 32-39          | 25-34           | 3-16                          | 17-32                         | 0-2                           |
| 2 | Перегриви в діапазоні температур 150-300°C. N=9  | 6-20           | 29-45           | 26-33                         | 13-26                         | 0-2                           |
| 3 | Перегриви в діапазоні температур 300-500°C. N=12 | 0-10           | 61-93           | 0-17                          | 6-20                          | 0-1                           |
| 5 | Перегриви в діапазоні температур 150-300°C. N=9  | 10-18          | 11-24           | 31-59                         | 16-30                         | 0-5                           |
| 6 | Перегриви в діапазоні температур 150-300°C. N=10 | 0-10           | 23-31           | 28-34                         | 35-42                         | 0-2                           |

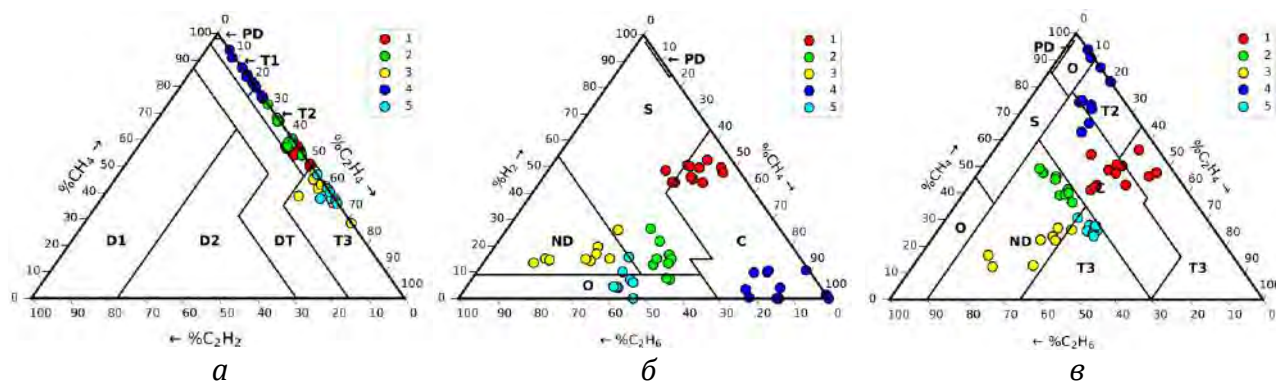


Рис. 1 – Результати діагностики 52 трансформаторів з перегрівом в різних діапазонах температур з використанням трьох трикутників Дюваля: а – трикутник Дюваля №1; б – трикутник Дюваля №4; в – трикутник Дюваля №5

#### Список літератури:

1. Duval, M. Fault gases formed in oil-filled breathing EHV power transformers - The interpretation of gas analysis data / M. Duval // IEEE PAS Conf. - 1974. - Paper No C.74 476-8.
2. Duval, M. The duval triangle for load tap changers, non-mineral oils and low temperature faults in transformers / M. Duval // IEEE Electrical Insulation Magazine. - 2008. - Vol. 24, № 6. - P. 22-29.
3. Shutenko, O. Analysis of Gas Content in Oil-Filled Equipment with Low Energy Density Discharges / O. Shutenko, O. Kulyk // International Journal on Electrical Engineering and Informatics. - 2020. - Vol. 12, № 2. - P. 258-277.