



УКРАЇНА

(19) UA (11) 56766 (13) U
(51) МПК (2011.01)
G01N 30/00
G01N 33/26

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ ВИЯВЛЕННЯ ДЕФЕКТІВ В ІЗОЛЯЦІЇ ВИСОКОВОЛЬТНОГО МАСЛОНАПОВНЕНОГО ОБЛАДНАННЯ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ХРОМАТОГРАФІЧНОГО АНАЛІЗУ РОЗЧИНЕНИХ У МАСЛІ ГАЗІВ

1

2

(21) u201008612

(22) 09.07.2010

(24) 25.01.2011

(46) 25.01.2011, Бюл.№ 2, 2011 р.

(72) БОНДАРЕНКО ВОЛОДИМИР ОМЕЛЯНОВИЧ,
ШУТЕНКО ОЛЕГ ВОЛОДИМИРОВИЧ, АУЛОВА
НАТАЛЯ ВОЛОДИМИРІВНА, БАКЛАЙ ДМИТРО
МИКОЛАЙОВИЧ

(73) НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
"ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"

(57) Спосіб виявлення дефектів в ізоляції високовольтного маслонаповненого обладнання за результатами хроматографічного аналізу розчинених у маслі газів, який полягає в тому, що проводять систематичний відбір проб масел, визначають концентрації газів CO, CO₂, CH₄, C₂H₂, C₂H₄, C₂H₆

та H₂, який відрізняється тим, що встановлюють наявність систематичного зростання концентрацій розчинених у маслі газів в порівнянні з результатами декількох попередніх аналізів, визначають наявність одночасного зростання концентрацій газів вуглеводневого ряду та водню (CH₄, C₂H₂, C₂H₄, C₂H₆ та H₂) в об'єкті, який діагностують, та встановлюють наявність такого зростання в сусідньому об'єкті, рішення щодо наявності дефекту приймають, якщо встановлено значиме, одночасне, систематичне зростання концентрацій розчинених у маслі газів в об'єкті, який діагностують, без наявності такого зростання в сусідньому, незважаючи на те, перевищено граничні значення концентрацій газів чи ні.

Корисна модель відноситься до електроенергетики та стосується високовольтного маслонаповненого обладнання, що використовується в електричних мережах, наприклад силові високовольтні трансформатори, автотрансформатори, високовольтні маслонаповнені вводи та інші і може бути використана для діагностики стану ізоляції високовольтного маслонаповненого устаткування, при проведенні періодичних профілактичних іспитів ізоляції, у рамках експлуатаційного контролю, а також в разі використання безперервного контролю стану обладнання.

Одним з основних методів діагностики стану високовольтного маслонаповненого обладнання, що виявляє більшість дефектів, вважається хроматографічний аналіз газів, розчинених у маслі (ГХА) [1]. В основі метода лежить той факт, що електророзрядні та термічні процеси, що розвиваються в целюлозній або масляній ізоляції супроводжуються її деструкцією та виділенням газів. Кожному термічному або електричному дефекту відповідає свій строго визначений спектр газів, що дозволяє не тільки виявляти наявність дефекту але й розпізнавати його походження. Всі великі енергетичні компанії й трансформаторобудуючі

фірми широко застосовують ГХА масла, при цьому використовують різні системи оцінки й визначення типу дефекту трансформатора.

На цей час міжнародною електротехнічною комісією для інтерпретації результатів ГХА рекомендується методика МЭК 599 [1]. Вона використовує розрахунок відносин концентрації газів: CH₄/H₂, C₂H/C₂H₆ і C₂H₂/C₂H₄. Інтерпретація результатів проводиться тільки, якщо концентрація газів вище певного рівня й достатня чутливість апаратури для аналізу. Як допоміжний критерій використовується відношення газів CO₂/CO, що показує наявність старіння паперу. Методика припускає використання інформації про кількість газу, що утвориться, розвитку дефекту за часом. У цей час уведена нова редакція МЭК 60599, що використовує менше число типів дефектів (п'ять замість дев'яти в старій редакції). Для уточнення діагнозу уведено додатково двоє відносин газів: C₂H₂/H₂, що оцінює вплив проникнення газів із РПН у загальний бак, і O₂/N₂, що вказує на перегрів масла. Типові концентрації газів МЭК 60599 рекомендують визначати по базі даних конкретного користувача. Вони розраховуються як концентрація на кривій

(13) U

(11) 56766

(19) UA

інтегрального розподілу, що відповідає 90% аналізів на справно працюючих трансформаторах.

Основним недоліком цієї методики є те, що основним критерієм наявності дефекту є концентрація розчинених в маслі газів, тому процедура інтерпретації результатів ГХА починається тільки у разі перевищення концентрації одного з газів свого граничного значення. Але значення концентрацій розчинених в маслі газів залежать від багатьох чинників і можуть змінюватися як в бік зменшення так і в бік збільшення, що може привести до прийняття похибкового рішення при діагностуванні стану високовольтного обладнання.

Найбільш близьким по сукупності ознак до корисної моделі, що заявляється, є обрана в якості прототипу методика РД 153-34.0-46.302-00 [2]. Вона використовує, як і методика МЭК 599, розрахунок відносин концентрацій газів CH_4/H_2 , $\text{C}_2\text{H}_4/\text{C}_2\text{H}_6$ і $\text{C}_2\text{H}_2/\text{C}_2\text{H}_4$. Для уточнення діагнозу використовується також відношення газів CO_2/CO . Визначення характеру дефекту проводиться тільки, якщо зміст у маслі хоча б одного із семи аналізованих газів вище граничної концентрації, установлені дослідницьким шляхом на великій кількості об'єктів. Розрізняються «основний» газ, концентрація якого стосовно граничного максимальна, «характерні» газ, концентрація яких перебуває в межах 0,1-1,0 граничної, і «нехарактерні» газ, концентрація яких менш 0,1 граничної. За назвою «основного» газу визначається дев'ять видів дефектів, характер дефектів визначається також по типових комбінаціях «основних» й «характерних» газів і по двох варіантах ($\text{C}_2\text{H}_2/\text{C}_2\text{H}_4$, CH_4/H_2 , CO_2/CO або $\text{C}_2\text{H}_2/\text{C}_2\text{H}_4$, CH_4/H_2 , $\text{CH}_4/\text{C}_2\text{H}_6$) сполучень відносин газів. Критерій швидкості наростання газів у маслі при перевищенні концентрації газів за граничні значення є вирішальним для відключення трансформатора.

Однак швидкість наростання газів аналізується, окремо по кожному із газів, порівняно тільки з результатами попереднього аналізу, без урахування результатів ранніх аналізів, що не дає можливості виявляти дефекти на ранній стадії їх розвитку, коли деструкція паперово-масляної ізоляції ще незначна й концентрації розчинених у маслі газів знаходяться в межах допустимих значень. Крім того не відбувається порівняння динаміки зміни концентрацій розчинених у маслі газів в сусідніх об'єктах на підстанції, що не дозволяє розпізнавати внутрішні та зовнішні причини газовиділення.

В основу корисної моделі поставлена задача розробити такий спосіб інтерпретації результатів аналізу розчинених у маслі газів, який би дозволяв виявляти дефекти в високовольтному маслонаповненому обладнанні на ранній стадії їх розвитку, коли деструкція ізоляції не набула руйнівних масштабів та концентрації розчинених у маслі газів не перевищують своїх граничних значень.

Поставлена задача вирішується таким чином, що в відомому способі виявлення дефектів в ізоляції високовольтного маслонаповненого обладнання за результатами хроматографічного аналізу розчинених у маслі газів, який полягає в тому, що проводять відбір проб масел, визначають концен-

трації газів CO , CO_2 , CH_4 , C_2H_2 , C_2H_4 , C_2H_6 та H_2 встановлюють наявність систематичного зростання концентрацій розчинених у маслі газів в порівнянні з результатами декількох попередніх аналізів, визначають наявність одночасного зростання концентрацій газів вуглеводневого ряду та водню (CH_4 , C_2H_2 , C_2H_4 , C_2H_6 та H_2) в об'єкті, який діагностують, та встановлюють наявність такого зростання в сусідньому об'єкті, рішення щодо наявності дефекту приймають якщо встановлено значиме, одночасне, систематичне зростання концентрацій розчинених у маслі газів в об'єкті, який діагностують, без наявності такого зростання в сусідньому, незважаючи на те чи перевищено граничні значення концентрацій газів чи ні. Результати хроматографічного аналізу розчинених у маслі газів представляються в вигляді:

$$\vec{x}(t) = \vec{G}(t) + \vec{\eta}(t) + \vec{\xi}(t), \quad (1)$$

де $\vec{G}(t)$ - систематична складова, що характеризує незворотні зміни в об'єкті (тренд);

$\vec{\eta}(t)$ - періодична складова, що характеризує зворотні зміни;

$\vec{\xi}(t)$ - стохастична складова, що не пов'язана зі старінням.

На фігурі 1 приведено аналіз експлуатаційних результатів ГХА, встановлено, що для кожного з можливих станів обладнання переважаючою є та чи інша складова. На фігурі 1, а наведена картина газів відповідна, відсутності дефекту (залежності газів вуглеводневого ряду від часу експлуатації мають випадковий, стохастичний характер).

На фігурі 1, б приведені короткочасне зростання концентрацій розчинених у маслі газів обумовлене зовнішніми причинами (перевантаження трансформаторів, перенапруги, дії струмів короткого замикання, перекося фаз, похибки при калібруванні хроматографа та інші [2, 3]) (переважаючою є періодична складова $\vec{\eta}(t)$).

Залежності газів вуглеводневого ряду від часу експлуатації наведені на фігурі 1, в характеризують ситуацію невизначеності, коли значуща систематична складова присутня для частини газів вуглеводневого ряду. В цьому випадку діагностуємих об'єкт рекомендується взяти під посилений контроль.

На фігурі 1, г наведені залежності концентрацій газів вуглеводневого ряду від часу дефектного об'єкту (для усіх газів вуглеводневого ряду переважаючою є систематична складова $\vec{G}(t)$).

Для кількісної оцінки наявності систематичної складової запропоновано використовувати значення коефіцієнта парної кореляції:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}) \cdot (t_i - \bar{t})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}} \quad (2)$$

де: N- число вибірових значень;

y_i і t_i - значення концентрацій розчинених у маслі газів і часу експлуатації;

\bar{y} , \bar{t} - математичні концентрацій розчинених у маслі газів і часу.

При цьому, розраховуються декілька значень коефіцієнтів парної кореляції:

зростання концентрацій розчинених у маслі газів на діагностуємому проміжку часу перевіряється шляхом розрахунку коефіцієнтів парної кореляції між розчиненими газами та часом експлуатації;

для перевірки одночасності зростання концентрацій газів розраховуються коефіцієнти парної кореляції між розчиненими газами діагностуємого об'єкту;

для розпізнавання зовнішніх та внутрішніх причин зростання концентрацій розчинених у маслі газів [3] розраховуються коефіцієнт парної кореляції між однойменними газами сусідніх трансформаторів, при наявності дефекту картини газів не співпадають мал. 2а, а при його відсутності спостерігається їх повний збіг мал. 2б.

Кореляція вважається значущою, якщо розрахункове значення коефіцієнта парної кореляції перевищує критичне, при числі мір свободи N-2, і заданому рівні довірчої імовірності $P = 0,99$.

За результатами розрахунку коефіцієнтів парної кореляції визначають значення діагностичних ключів:

K_1 - характеризує наявність значущої позитивної кореляції між газами і часом експлуатації на проміжку, що діагностується і має дві можливі реалізації: $K_1 = 0$ відсутність або не значуще зростання концентрації газів у часі і $K_1 = 1$ (є значуще зростання);

K_2 - характеризує наявність значущої позитивної кореляції між газами в об'єкті, що діагностується на проміжку: прийемо $K_2 = 0$ - при відсутності значущої кореляції між газами і $K_2 = 1$ - при її наявності.

K_3 характеризує наявність значущої кореляції між однойменними газами сусідніх об'єктів на підстанції: $K_3 = 0$ - при відсутності значущої кореляції і $K_3 = 1$ - при її наявності.

Діагноз об'єкту встановлюють за комбінацією значень ключів K_1 , K_2 , K_3 згідно з правилом прийняття рішення, яке наведено в таблиці 1.

Таким чином, запропонований спосіб інтерпретації результатів хроматографічного аналізу розчинених у маслі газів на відміну від існуючих методів, дозволяє виявляти дефекти високовольтного маслонаповненого обладнання на ранній стадії їх розвитку й тим самим не допустити руйнування ізоляції, знизити ймовірність похибки другого роду (пропуск дефекту) й тим самим підвищити експлуатаційну надійність високовольтного маслонаповненого обладнання; спосіб дозволяє розпізнавати зростання концентрацій розчинених у маслі газів, обумовлене зовнішніми причинами, навіть при відсутності інформації про наявність цих впливів, що дозволяє підвищити ймовірність рішень, які приймаються, за рахунок зниження похибки першого роду (похибкова тривога).

Джерела інформації.

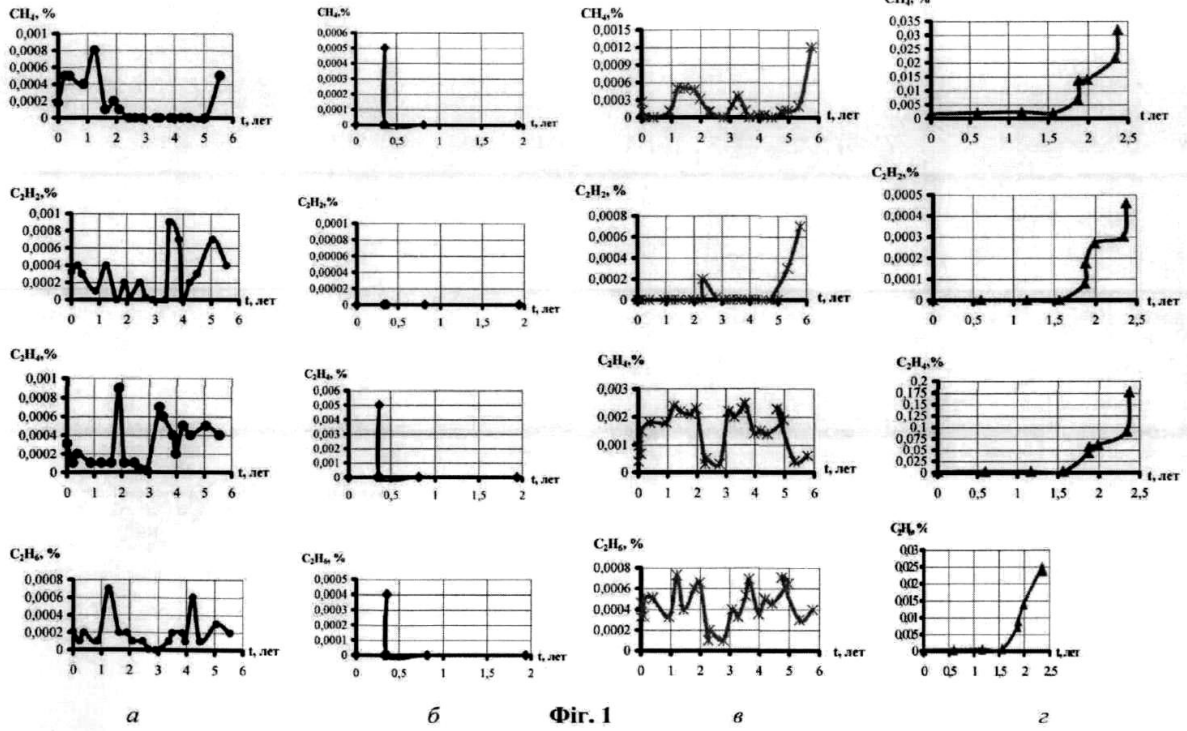
1. Алексеев Б. А. Контроль состояния (диагностика) крупных силовых трансформаторов. М. «Издательство НЦ ЭНАС» 2002. - 216с;

2. Методические указания по диагностике развивающихся дефектов трансформаторного оборудования по результатам хроматографического анализа газов, растворенных в масле. РД 153-34.0-46.302-00. - М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2001. - 15с;

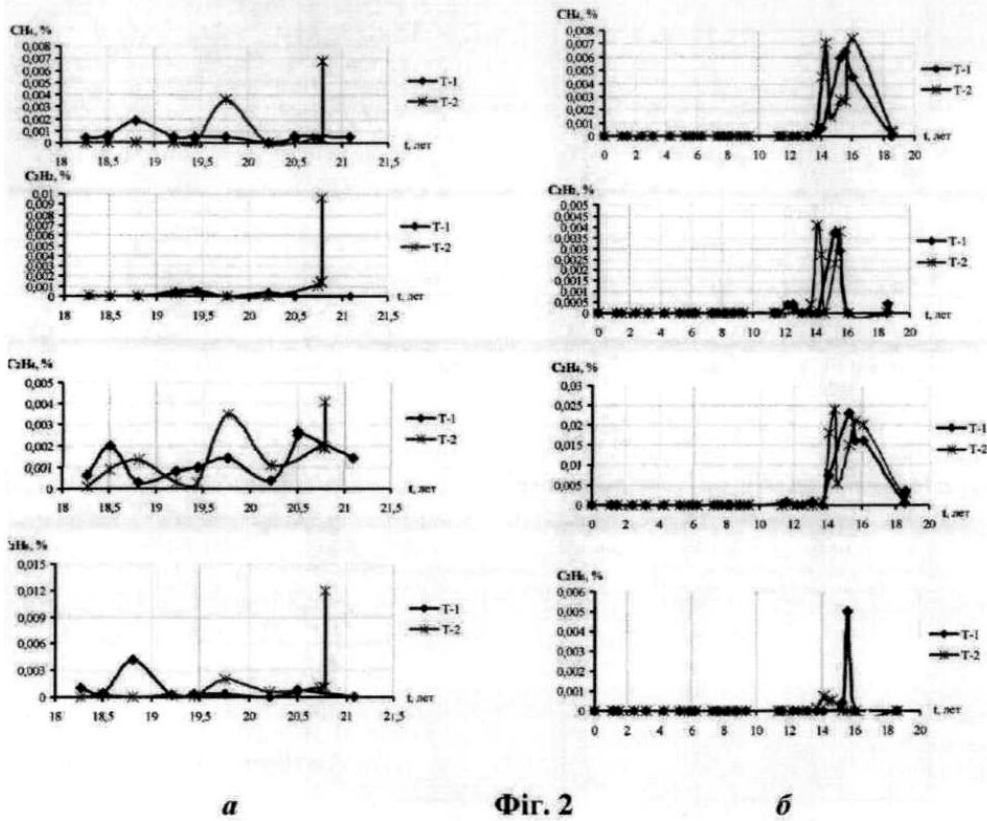
3. Шутенко О.В. Дослідження впливу експлуатаційних факторів на результати хроматографічного аналізу розчинених у маслі газів // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Пет-ра Василенка «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». - Харків. - 2008. - Том 1, випуск 73. – С. 45-48.

Таблица 1

Результати перевірки			Стан трансформатора
K_1	K_2	K_3	
0	0	0	Найвірогідніше, дефект відсутній
0	0	1	Найвірогідніше, дефект відсутній, картини газів ідентичні для всіх трансформаторів підстанції.
0	1	0	Зростання концентрації газів без розвитку у часі, зовнішні впливи.
0	1	1	Зростання концентрації газів без розвитку у часі, картини газів ідентичні для всіх трансформаторів підстанції, зовнішні впливи.
1	0	0	Зростання концентрації окремих газів, необхідні додаткові аналізи.
1	0	1	Зростання концентрації окремих газів, картини газів ідентичні для всіх трансформаторів підстанції, зовнішні впливи.
1	1	0	Наявність дефекту
1	1	1	Ймовірніше усього інтенсивні зовнішні впливи, необхідні додаткові аналізи.



Фиг. 1



Фиг. 2

