

– недостаточным количеством антиокислительных присадок в исследуемых маслах.

Опыт работы ПХК свидетельствует о том, что определение газосодержания изоляционных масел трансформаторов на хроматографах имеет преимущества по сравнению с абсорбционным методом. Этот метод позволяет существенно сократить объем работ по дегазации масел.

### Литература

1. Методика определения объемного содержания воздуха в масле. Инструкция ОВБ 463.252-66.
2. Степанчук, К.Ф. Контроль и диагностика изоляции машин и аппаратов: Учебно-метод. пособие для студ. спец. 10.01 и 10.04. – Минск: БГПА, 1995.
3. Зузак, М.Т., Шинкаренко, Г.В. Определение газосодержания изоляционных масел трансформаторов с пленочной защитой на хроматографах // Электрические станции. – 1989. – № 2.
4. Петриченко, А.Д. Оценка существующей системы контроля состояния трансформаторного масла // Электрические станции. – 1987. – № 10.

УДК 621.316.5

## ВИДЫ И МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗВИВАЮЩИХСЯ ДЕФЕКТОВ В ТРАНСФОРМАТОРНОЙ ИЗОЛЯЦИИ

*Кулик Н.Н., Басыгин К.А.*

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент КРАСЬКО А.С.

Высоковольтные маслонаполненные трансформаторы являются одним из наиболее надежных элементов системы электроснабжения. В то же время они являются и наиболее ответственными элементами этой системы. По этой причине принимаются меры к дальнейшему повышению надежности трансформаторов и разрабатываются профилактические мероприятия, направленные на своевременное обнаружение опасных ухудшений изоляции с целью не допустить аварийное отключение.

Так как аварийному отключению трансформаторов предшествуют более или менее длительные процессы в изоляции, то все дефекты можно разделить:

1. Развивающиеся.
2. Развившиеся.

В зависимости от причины повреждения изоляции дефекты разделяют:

1. Повреждения электрической дугой или дуговые повреждения. Воздействующая электрическая дуга может быть как легкой (между пластинами контактов или пластинами магнитопровода) так и мощной (возникает при перекрытии или пробое изоляции).

2. Повреждения частичными разрядами. Эти повреждения наблюдаются при частичных разрядах на короне с концов проводников, краев металлических экранов в масле или маслоцеллюлозной системе.

3. Повреждения, вызванные местным перегревом изоляции. Локальный перегрев участков изоляции может быть связан с дефектами в соединениях, креплениях, с высокой плотностью тока на металлических поверхностях, с перегрузкой обмоток или сверхтоками в изолированных болтах магнитопровода. Перегревы могут захватывать системы «металл – масло» или «металл – масло – твердая изоляция».

Частота встречающихся дефектов зависит от типов трансформаторов и режимов их работы. По имеющимся данным, из 24 трансформаторов мощностью 40 МВА и более, в 16 случаях наблюдалось повреждение в магнитопроводе, в 3-х случаях эти повреждения привели к выгоранию баколитовых цилиндров и гетинаксовых плит, в 2-х

случаях – перегрев проводников, еще в 2-х – витковое замыкание, и в 2-х – разряды в масле. Причины повреждений в магнитопроводе заключались в разрыве шпилек, самоствинчивании гаек и перемещении стяжных болтов, прокручивании стяжных болтов и соединении накоротко пакетов стали.

В настоящее время общее представление об изоляции трансформаторов в эксплуатации получают с помощью неразрушающих профилактических испытаний путем измерения сопротивления изоляции, тангенса угла потерь, соотношения емкостей изоляции при частоте 2 и 50 Гц или при температурах 70 и 20 °С, определением характеристик масла (электрическая прочность, удельное сопротивление, кислотное число, температура вспышки, содержание воды).

Более тонкие методы с использованием специальных проб, помещенных в трансформаторы, с измерением поверхностного натяжения и инфракрасного спектра масла, степени полимеризации бумажных проб громоздки и распространения не получили. Определение частичных разрядов в условиях эксплуатации как правило невозможно из-за высокого уровня помех.

Испытания последних лет показали, что наряду с испытанием масла, весьма ценную информацию о процессах внутри трансформатора может дать состав и количество газов, выделяющихся из масла и растворенных в масле. Поэтому в этом направлении активно проводятся работы по созданию методики ранней диагностики дефектов в трансформаторах.

Заполнение камеры газового реле газа может происходить по нескольким причинам. Во-первых, в газовое реле может попасть воздух после замены масла, после центрифугирования масла, замены селикагеля в трансформаторном фильтре, в результате подсосов из-за неплотностей в масляных насосах и пр. Во-вторых, возможно выделение газа из масла вследствие различных дефектов изоляции.

Выделение газа наблюдается при испарении или термическом разложении масляной изоляции. При медленном испарении пары конденсируются и не попадают в газовое реле.

При интенсивном испарении газовое реле может сработать вследствие возникновения волны давления. Согласно исследованиям небольшое количество углеводородов (2 % по объёму) присутствует в газах при нормальных температурах. Состав и количество газов в образце масла 0,1 см<sup>3</sup> при различных температурах приведены в таблице 1.

**Таблица 1. Состав продуктов разложения масла WRMCO-C  
(получение с помощью масс-спектрографа)**

t, °С	Объём газов					
	углеводороды		H <sub>2</sub> O		CO <sub>2</sub>	
	см <sup>3</sup>	%	см <sup>3</sup>	%	см <sup>3</sup>	%
25	0,00262	99,99	–	–	–	–
200	0,00644	75	0,00215	25	–	–
250	0,005	70	0,00215	30	–	–
300	0,00454	72,5	0,00172	27,5	–	–
350	0,00265	63,2	0,00155	36,8	–	–
400	0,0363	75,4	0,0091	19	0,0027	5,6
450	0,00429	79,8	0,0091	17	0,00017	3,2
500	0,00639	94,8	–	–	0,00034	5,1

При термическом разложении твердой изоляции характерные газы могут появиться при относительно небольших температурах. Так при разложении целлюлозы CO<sub>2</sub> появляется при температурах уже порядка 150 °С. Большинство органических материалов разлагается при температурах 200–400 °С.

С ростом температуры разложение происходит более полно, индивидуальные черты материала исчезают, а состав продуктов разложения становится более простым.

Состав газов, которые выделяются при воздействии электрической дуги на систему «масло – твёрдая изоляция», приведен в таблице 2.

Таблица 2. Состав продуктов разложения системы «масло – твёрдая изоляция» при воздействии электрической дуги (%)

	H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> и галогены	CO	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>
Картон в масле	41–53	14–21	1–10	1–11	13–24	1–2	2–3	4–7
Гетинакс в масле	41–54	4–11	2–9	0–3	24–35	0–2	1–3	2–6

В таблице приведены максимальные и минимальные значения для большого количества опытов при разных токах дуги. Состав газов получен при исследовании на моделях и не менялся в зависимости от тока и материала электродов.

При развитии частичных интенсивных зарядов газовыделение связано с присутствием газовой фазы. Воздействие на масло ионизированной среды приводит к газавыделению в зависимости от состава масла (процента ароматических соединений), напряжённости поля, температуры и газовой среды. При уверенном количестве ароматики, что справедливо для трансформаторного масла, газ, как правило, выделяется. При разложении только масло выделяется преимущественно водород и углеводороды. В присутствии целлюлозных материалов появляется также CO и CO<sub>2</sub>.

В некоторых редких случаях газовыделение может быть не связано с наличием дефектов. При нормальной работе трансформатора в масле может содержаться количество CO. Присутствие воды может привести к газовыделению за счёт электролиза при этом отношение H<sub>2</sub> и O<sub>2</sub> должны быть в отношении 2 к 1. Взаимодействие слабых органических кислот с металлом так же может привести к газовыделению. Всё это надо иметь ввиду при диагностике повреждений.

Для оценки характера и размера повреждений важно установить скорость газообразования. Данные испытаний говорят о том, что если скорость газообразования возрастает, то это указывает на прогрессирующий дефект. Есть указания, что крупные трансформаторы можно оставлять в работе, если газовыделение не превышает 200 см<sup>3</sup>/час.

### Литература

1. Определение состояния внутренней изоляции силовых трансформаторов путем анализа выделяющихся масла и растворенных в масле газов / НИР № 71050306. Руководитель к.т.н. Степанчук К.Ф. – Минск; НИС БПИ, 1971. – 108 с.

УДК 621.316.5

## ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ГТУ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ

Барбук Е.А., Макаревич А.Д.

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент МАЗУРКЕВИЧ В.Н.

Газотурбинной установкой (ГТУ) называют тепловой двигатель, состоящий из трех основных элементов: воздушного компрессора, камеры сгорания и газовой турбины. Принцип действия ГТУ сводится к следующему. Из атмосферы воздух забирают