

Воприков Антон Владимирович

канд. техн. наук, доцент

Ким Тумэр Данбаевич

студент

ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный

университет путей сообщения»

г. Хабаровск, Хабаровский край

ДИАГНОСТИКА ДЕЙСТВУЮЩЕГО СИЛОВОГО АВТОТРАНСФОРМАТОРА ПС 220 КВ НА ОСНОВЕ ХАРГ

***Аннотация:** в статье рассмотрен действующий силовой автотрансформатор подстанций 220 кВ и его хроматографический (ХАРГ) анализ. Приведены результаты диагностики и на их основе доказаны его неудовлетворительное эксплуатационное состояние и необходимость в ремонте.*

***Ключевые слова:** понизительная подстанция, силовой автотрансформатор, хроматографический анализ, диагностика силового автотрансформатора.*

Вопрос определения состояния силовых трансформаторов с каждым днем становится все более и более востребованным, так как в настоящее время более 80% понижающих и повышающих трансформаторов отработали свой полный срок службы. Одним из способов диагностики технического состояния силовых трансформаторов является хроматографический анализ растворенных газов (ХАРГ) в масле трансформатора [1].

ХАРГ обеспечивает определение концентрации таких газов, растворенных в трансформаторном масле как: метана (CH_4), водорода (H_2), этилена (C_2H_4), ацетилена (C_2H_2), оксида углерода (CO), диоксида углерода (CO_2), этана (C_2H_6) [2].

Согласно руководящему документу [2] для трансформаторов подстанций регламентированы сроки проведения ХАРГ:

– для трансформаторов напряжением 110 кВ менее 60 МВА, а также блочные трансформаторы собственных нужд – через 6 месяцев после включения, а далее не менее 1 раза в 6 месяцев;

– для трансформаторов напряжением 110 кВ и мощность как 60 МВА, так и более, сюда же относятся трансформаторы напряжением 220–500 кВ в течении первых суток, через 1, 3 и 6 месяцев после включения, а далее не менее 1 раза в 6 месяцев;

– для трансформаторов напряжением 750 кВ контроль проводится в течение первых суток, через 2 недели, 1,3 и 6 месяцев после включения, а далее не менее 1 раза в 6 месяцев.

Основной критерий, определяющий степень опасности развивающегося дефекта в трансформаторе (автотрансформаторе) – это скорость нарастания газов в масле [2].

По причине естественного старения изоляции, а также вследствие воздействия различных факторов (перегрев, предельно допустимая нагрузка) может происходить изменение во времени концентрации отдельных газов находящихся в масле бездефектных трансформаторов [2].

К увеличению роста концентрации как одного, так и нескольких газов в масле приводит наличие уже развивающегося дефекта в совокупности с этими факторами [2].

Абсолютную скорость нарастания ионного газа определяют по формуле (1) (далее для формул описание сделать также)

$$V_{\text{абс}(i)} = \frac{A_{mi} - A_{(m-1)i}}{T_d} (\% \text{ об./времен.}), \quad (1)$$

где A_{mi} – концентрация газа в конце временного промежутка;

$A_{(m-1)i}$ – концентрация газа в начале временного промежутка;

T_d – временной промежуток, между которым проводились пробы газа.

Относительная скорость нарастания ионного газа рассчитывается по формуле (2):

$$V_{\text{отн}(i)} = \frac{V_{\text{абс}(i)}}{A_{(m-1)i}} \cdot 100 (\% \text{ об./времен.}), \quad (2)$$

где $V_{\text{абс}(i)}$ – абсолютная скорость нарастания ионного газа;

$A_{(m-1)i}$ – концентрация газа в начале временного промежутка.

При обнаружении дефекта (дуговые разряды, искрение, пробой масла и т. д.) на основе ХАРГ в силовом трансформаторе, необходимо проводить повторные анализы через промежуток времени для того чтобы определить скорость нарастания дефекта и подтвердить его наличие [2]. В данной статье приведен промежуток в год.

Определение вида и характера повреждений развивающихся внутри трансформатора происходит по отношению концентраций газов (H_2 , CH_4 , C_2H_4 , C_2H_2 , C_2H_6) [2].

Условия прогнозирования «разряда»:

$$\frac{C_2H_2}{C_2H_4} \geq 0,1 \text{ и } \frac{CH_4}{H_2} \leq 0,5.$$

Условия прогнозирования «перегрева»:

$$\frac{C_2H_2}{C_2H_4} < 0,1 \text{ и } \frac{CH_4}{H_2} > 0,5.$$

Но если концентрация $CO < 0,05\%$ об, то будет прогнозироваться «перегрев масла», если концентрация $CO > 0,05\%$ об, то будет прогнозироваться «перегрев твердой изоляции».

Условия прогнозирования «разряда» и «перегрева»:

$$\frac{C_2H_2}{C_2H_4} \geq 0,1 \text{ и } \frac{CH_4}{H_2} > 0,5 \text{ или } \frac{C_2H_2}{C_2H_4} < 0,1 \text{ и } \frac{CH_4}{H_2} \leq 0,5$$

Определение характера развивающихся дефектов в трансформаторах происходит согласно таблице 1 [2]:

Таблица 1

Определение характера дефекта в трансформаторе
по отношению концентраций пар газов

N п/п	Характер прогнозируемого дефекта	Отношение концентраций характерных газов	Типичные примеры
----------	----------------------------------	------------------------------------------	------------------

		$\frac{C_2H_2}{C_2H_4}$	$\frac{C_2H_2}{H_2}$	$\frac{C_2H_4}{C_2H_6}$	
1	Нормально	<0,1	0,1–1	≤ 1	Нормальное старение
2	Частичные разряды с низкой плотностью энергии	<0,1	<0,1	≤ 1	Разряды в заполненных газом полостях, образовавшихся вследствие не полной пропитки или влажной изоляции
3	Частичные разряды с высокой плотностью энергии	0,1–3	<0,1	<1	То же, что и в п. 2, но ведет к оставлению следа или пробоем твердой изоляции
4	Разряды малой мощности	>0,1	0,1–1	1–3	Непрерывное искрение в масле между соединениями различных потенциалов или плавающего потенциала. Пробой масла между твердыми материалами
5	Разряды большой мощности	0,1–3	0,1–1	≥3	Дуговые разряды; искрение, пробой масла между обмотками или катушками или между катушками на землю
6	Термический дефект низкой температуры (<150°C)	<0,1	0,1–1	1–3	Перегрев изолированного проводника
7	Термический дефект в диапазоне низких температур (150–300°C)	<0,1	≥1	<1	Местный перегрев сердечника из-за концентрации потока. Возрастание температуры «горячей точки»
8	Термический дефект в диапазоне средних температур (300–700°C)	<0,1	≥1	1–3	То же, что и в п. 7, но при дальнейшем повышении температуры «горячей точки»
9	Термический дефект высокой температуры (>700°C)	<0,1	≥1	≥3	Горячая точка в сердечнике; перегрев меди из-за вихревых токов, плохих контактов; циркулирующие токи в сердечнике или баке

Произведем диагностику данного автотрансформатора типа АДЦТН-63000/220/110/35.

Таблица 2

Данные ХАРГ ПС 220 кВ «N»

АДЦТН-63000/220/110/35	Концентрация газов, % об/год.						
	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	CO	CO ₂
22.01.2020	0	0,00348	0	0,00145	0,00062	0,0317	0,930
22.01.2021	0,00066	0,00351	0,00062	0,00158	0,0008	0,0368	0,932

По результатам хроматографического анализа рассчитаем абсолютные и относительные скорости нарастания газа за год по формулам (1) и (2). Занесем результаты расчетов нарастания i -го газа в табл. 3.

Таблица 3

Результаты относительной скорости нарастания газов в автотрансформаторе

	Относительная скорость нарастания V, % об/год.						
АТДЦТН-63000/220/110/35	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	CO	CO ₂
2020–2021	100	0,00862	100	8,97	29,032	16,088	0,21

Далее определим отношение пар газов из таблицы 2 (по данным от 22.01.2021):

$$\frac{C_2H_2}{C_2H_4} = 0,1766, \quad \frac{C_2H_2}{H_2} = 0,939 \quad \text{и} \quad \frac{C_2H_4}{C_2H_6} = 1,975.$$

Следующим пунктом следует определить какой из газов имеет максимальную относительную концентрацию и определим какой газ имеет максимальную относительную концентрацию. Результаты приведены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты относительной концентрации газов

	Относительная концентрация газов, A _{отн}				
АТДЦТН-63000/220/110/35	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆
	0,066	0,0351	0,62	0,158	0,08

По результатам вычислений максимальную относительную концентрацию имеет этилен (C₂H₄).

Далее построим диаграмму состава газов, для анализа дефектов графическим способом. Найдем отношения концентрации газов к максимальному и результаты представим в виде графика дефекта (рис. 1).

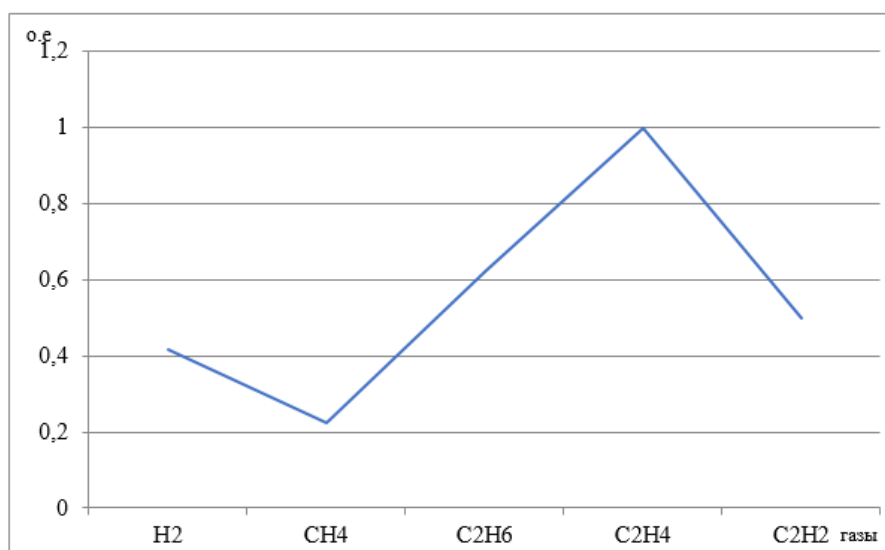


Рис. 1. График дефекта АДЦТН-63000/220/110/35 (22.01.2021 г.)

Следовательно, дефекты в данном автотрансформаторе термического характера (C₂H₄) – дефекты термического характера в диапазоне высоких температур [2].

Выводы:

- превышение граничных концентраций по метану (C₂H₄) в 1,58 раз и диоксиду углерода (CO₂) в 1,24 раза является следствием;
- относительные скорости нарастания газов – положительные, поэтому дефект является развивающимся;
- отношение концентраций характерных газов в автотрансформаторе указывает на то, что в нем присутствует местный перегрев сердечника из-за концентрации потока возрастание температуры наиболее горячей точки ННТ. Дефект в диапазоне средних температур (300–700°С);
- соотношение CO₂/CO > 13 (25,32) указывает на то, что данное повреждение затронуло твердую изоляцию автотрансформатора.

Рекомендуется проводить Учащенный ХАРГ с интервалом в 10 суток, а также проводить очистку контактов переключением.

Список литературы

1. Евразия вести / ЭЛТРАНС [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.eav.ru/publ1.php?publid=2011-10a02> (дата обращения: 02.03.2020).

2. Львов Ю.Н. Методические указания по диагностике развивающихся дефектов трансформаторного оборудования по результатам хроматографического анализа газов растворенных в масле РД 153–34.0–46.30200 / Ю.Н. Львов, Т.Е. Касаткина, Б.В. Ванин. – М., 2001. – 44 с.