

с развитой стекольной промышленностью (США, Япония, Англия, Германия, Франция) от 40 до 60 % стекла специального назначения вырабатывается в электрических печах.

Несмотря на высокую стоимость электроэнергии в настоящее время на различных рынках [2–4] и относительно небольшую производительность электропечей, перспективность применения электроварки стекла обусловлена ее существенными преимуществами по сравнению с газовой:

- более низкие капиталовложения при электроварке;
- уменьшенные размеры электропечей;
- более высокий КПД;
- высокий коэффициент использования стекломассы;
- сокращение эксплуатационных расходов на обслуживающий персонал и материалы;
- обеспечение гибкости и точности регулирования температурного режима;
- уменьшение улетучивания компонентов (особенно фтора, оксидов свинца, бора), что очень важно с точки зрения как стабильности состава, так и экологии;
- возможность производства ряда стекол, варка которых невозможна в пламенных печах или затруднена в связи с необходимостью достижения высоких температур или интенсивного улетучивания компонентов;
- обеспечение полной автоматизации процессов стекловарения;
- отсутствие загрязнения окружающей среды.

Л и т е р а т у р а

1. Справочник по наилучшим доступным техническим методам использования энергоресурсов в стекольной промышленности: производство сортового и тарного стекла. – Режим доступа: http://ecoline.ru/wp-content/uploads/BAT_Energy_Glass.pdf. – Дата доступа: 11.05.2023.
2. Минько, Н. И. Электрическая варка стекла : монография / Н. И. Минько, В. С. Бессмертный, В. В. Калатоzi. – Белгород : БГТУ, 2016. – 316 с.
3. Севастьянов, Р. И. Применение электроэнергии в стекловарении / Р. И. Севастьянов // Стекло и керамика. – 1994. – № 3/4. – С. 8–10.
4. Электроварка стекла / М. Г. Манвелян [и др.]. – Ереван, 1962. – 223 с.

УДК 543.544

РАЗЛИЧИЯ МЕТОДИК ПРИ ВЫЯВЛЕНИИ ДЕФЕКТОВ В ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ТРАНСФОРМАТОРАХ ПО ХРОМОТОГРАФИЧЕСКОМУ АНАЛИЗУ

Е. А. Жук

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Н. В. Грунтович

Рассмотрены различные методики, позволяющие трактовать полученные результаты по-разному, что в свою очередь может привести к наличию дефекта в дорогостоящем и важном оборудовании, которое может выйти из строя в достаточно быстрый период времени.

Ключевые слова: хроматографический анализ, трансформатор, методика Дорненбург, методика согласно ИЕС 60599, методика согласно СТП 33243.20.366–16.

DIFFERENCES IN METHODS FOR DETECTING DEFECTS IN HIGH-VOLTAGE TRANSFORMERS BY CHROMATOGRAPHIC ANALYSIS

E. A. Zhuk

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

Science supervisor N. V. Gruntovich

Various techniques allow us to interpret the results obtained in completely different ways, which in turn can lead to the presence of a defect in expensive and important equipment that can fail in a fairly fast period of time.

Keywords: chromatographic analysis, transformer, Dornenburg method, method according to IEC 60599, method according to STP 33243.20.366–16.

В современных реалиях можно наблюдать, что идет замена высоковольтного оборудования, но это достаточно долгий и дорогостоящий процесс. По этой причине достаточно многие трансформаторы, которые отработали свой нормативный срок службы, находятся в работе. Для того чтобы обеспечить их нормальную работу, необходимо выполнять контроль и проводить диагностику. Одним из наиболее простых и достаточно точных методов, для выявления наличия дефекта является анализ результатов хроматографии.

По полученным результатам становится возможным выявление различного рода дефектов, таких, как частичные разряды с низкой плотностью энергии; частичные разряды с высокой плотностью энергии; электрические разряды малой мощности; электрические разряды большой мощности; термический дефект низкой температуры ($< 150\text{ }^{\circ}\text{C}$); термический дефект в диапазоне низких температур ($150\text{--}300\text{ }^{\circ}\text{C}$); термический дефект в диапазоне средних температур ($300\text{--}700\text{ }^{\circ}\text{C}$); термический дефект высокой температуры ($> 700\text{ }^{\circ}\text{C}$); разрядный и термический дефекты.

Различные страны для выполнения анализа полученных данных используют различные методики, описанные в разных нормативных документах. В Республике Беларусь и Российской Федерации при выполнении хроматографического анализа опираются на одинаковую методику, описанную в СТП 33243.20.366–16. Согласно белорусско-русской методике, для определения характера дефекта используются следующие отношения концентраций газов:

$$\frac{C_2H_2}{C_2H_4}, \frac{CH_4}{H_2} \text{ и } \frac{C_2H_4}{C_2H_6}. \quad (1)$$

В странах Запада и США используются методика, описанная в IEC 60599, и методика, разработанная Дорненбургом.

Согласно методу, описанному в IEC 60599, для выявления дефектов используются те же три соотношения, что и ранее (1). Однако результаты, получаемые в ходе расчетов, трактуются немного иначе, и можно наблюдать отличия.

Для определения характера дефекта используются совершенно иные соотношения газов (2):

$$\frac{C_2H_2}{C_2H_4}, \frac{CH_4}{H_2}, \frac{C_2H_6}{C_2H_2} \text{ и } \frac{C_2H_2}{CH_4}. \quad (2)$$

В табл. 1 приведены результаты хроматографического анализа газов в трансформаторном масле. В табл. 2 приведена информация о предполагаемом дефекте в соответствии с методиками.

Таблица 1

Газы растворенные в масле трансформатора

Дата анализа	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	CO	CO ₂	O ₂	N ₂
30.10.2015	0,0006	0,0006	–	0,0193	0,0065	0,022	0,507	–	–
13.11.2015	0,0015	0,0008	–	0,0204	0,0073	0,022	0,562	–	–
30.11.2017	–	0,0008	–	0,0236	–	0,033	1,076	1,86	9,24
22.11.2018	0,0017	0,0001	–	0,0016	–	0,004	0,052	–	–
09.12.2019	–	0,0005	0,00005	0,0068	–	0,007	0,11	–	–
25.06.2020	–	0,0013	0,00008	0,0222	–	0,011	0,904	–	–

Таблица 2

Результаты анализа соотношений газов

Дата анализа	Белорусско-русская методика	IEC60599	Метод Дорненбурга
30.10.2015	Термический дефект в диапазоне средних температур (300–700 °C)	Нет дефекта	Нет дефекта
13.11.2015	Термический дефект низкой температуры (< 150 °C)	Нет дефекта	Нет дефекта
30.11.2017	Термический дефект высокой температуры (> 700 °C)	Термический дефект высокой температуры (> 700 °C)	Электрические разряды большой мощности
22.11.2018	Нет дефекта	Нет дефекта	Электрические разряды большой мощности
09.12.2019	Термический дефект высокой температуры (> 700 °C)	Термический дефект высокой температуры (> 700 °C)	Нет дефекта
25.06.2020	Термический дефект высокой температуры (> 700 °C)	Термический дефект высокой температуры (> 700 °C)	Нет дефекта

По результатам, приведенным в табл. 2, можно наблюдать, что все методики дали свой результат, и результаты расходятся, что в свою очередь может привести к неверным выводам и ненужным действиям или вообще к их отсутствию и развитию дефекта, который может стать критическим для трансформатора.

Хроматографический анализ – это быстрый и практичный метод для выявления дефектов, однако методика применяемая в Республике Беларусь недостаточно точна и ей необходимо уточнение и совершенствование, т. е. ее комбинации с методиками, применяемыми в других странах.