

УДК 612.315

**ВЛИЯНИЕ ПРОВОДИМОСТИ ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА НА ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В КОНТАКТАХ ПЕРЕКЛЮЧАЮЩИХ УСТРОЙСТВ**

**Зиновкин В.В., д.т.н., Волков Г.П., к.т.н., Волкова О.Г., аспирант  
Запорожский национальный технический университет  
69063, г.Запорожье, ул. Жуковського, 64  
E-mail: [zvuv@zntu.edu.ua](mailto:zvuv@zntu.edu.ua)**

У даній статті досліджено вплив провідності трансформаторного масла й електротермічні процеси в контактах перемикаючих пристроїв залежно від кількості комутацій. Показано характер процесу утворення механічних включень у трансформаторному маслі й дані рекомендації зі строків його заміни.

**Ключові слова:** контактор, трансформаторне масло, контакти, дуга.

In the article the effect of transformer oil conductivity and electro-thermal processes in the contacts of commutation devices are presented. The nature of mechanical impurities in the oil is shown and recommendations on the term of oil exploitation are given.

**Key words:** contactor, transformer oil, contacts, arc.

**Введение.** Исследования, направленные на улучшение коммутационной способности высоко-точных переключателей устройств, указывают на необходимость учета эксплуатационных факторов работы контактной системы, и в первую очередь состояния рабочей среды. Изучению свойств трансформаторного масла посвящено значительное количество работ [1-5]. В них рассматриваются свойства масла в баке трансформатора. При этом не учитывается изменение свойств трансформаторного масла в баке переключательного устройства, в котором основным фактором, влияющим на загрязнение является электрическая дуга отключения, приводящая к деструктивному разложению трансформаторного масла с выделением углеводородных составляющих в виде газов и механических включений. Данная статья посвящена анализу механизма образования углеродистых частиц, способных влиять на работоспособность контактной системы.

**Цель работы.** Поиск закономерностей роста влияния проводимости трансформаторного масла на электротермические процессы в контактах переключательных устройств.

**Материал и результаты исследований.** Рассмотрим вопрос на примере маслonaполненных контакторов РПН (регулятор под нагрузкой) трансформатора. Рабочей средой в этом случае является трансформаторное масло, выполняющее одновременно функции диэлектрика, среды дугогашения и хладагента.

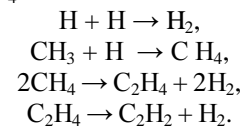
Являясь хорошим диэлектриком в чистом состоянии, масло способно менять свои характеристики при загрязнении его механическими и газовыми включениями.

Электродуговые разряды в процессе коммутации контакторов сильно влияют на свойства масел, вы-

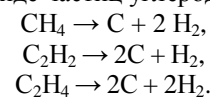
зывая их деструктивное разложение с выделением углеводородных газов и механических примесей. Рассмотрим механику этого процесса.

По своей природе трансформаторное масло - продукт переработки нефти, получаемый путем выпаривания остаточного дистиллята при  $T=300^0-400^0C$ . Основной состав масла - смесь трех термически нестойких структурных групп: парафиновых, нафтеновых и ароматических углеводородов. Основным дестабилизирующим фактором их состояния в контакторе является электрическая дуга отключения. Процесс дугообразования характеризуется высокими значениями температуры (свыше  $3500^0C$ ) и давления (более 7 МПа) в зоне горения дуги.

Термическое разложение масла начинается уже при температуре  $350-450^0C$ , а при  $600^0C$  основу газовых образований составляют метан  $CH_4$  и водород  $H_2$ . Диссоциация молекул масла происходит путем отрыва атомов водорода и метильных групп  $CH_3$ . Появившиеся несвязанные атомы Н и группы  $CH_3$ , как и их производные, при росте температуры до  $1300^0C$  начинают вступать в реакции между собой, с образованием водорода  $H_2$ , ацетилена  $C_2H_2$ , метана  $CH_4$ , этилена  $C_2H_4$ :



Дальнейший рост температуры свыше  $1300^0 C$  приводит к выделению из газовой смеси механических примесей в виде частиц углерода:



Относительно углеродистых частиц можно ут-

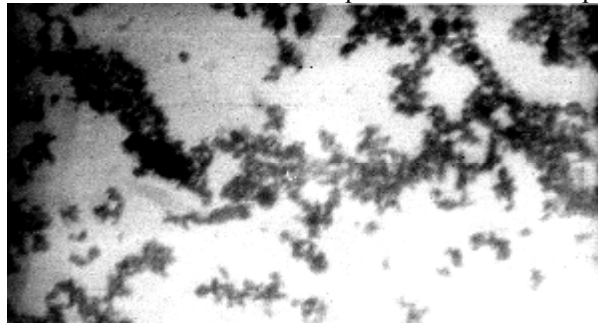
верждать, что поскольку процесс газового разряда длится доли секунды ( $10^{-2}$ - $10^{-3}$  с), то свободный углерод присутствует в виде частиц сажи.

Сажа – хорошо известный порошкообразный продукт черного цвета, получаемый в результате термического разложения органических веществ и содержащий 94-95% углерода, остальное – водород, кислород, зольные элементы.

Известно, что сажа обладает хорошими адсорбционными свойствами. На поверхности ее дисперсных частиц адсорбируется значительное количество

легких углеводородов, масса которых может достигать до 30 % массы сажи, и вода. Опыты, проводившиеся в сходных условиях, показывают на резкое снижение электрической прочности трансформаторного масла по этим причинам [1].

Одновременно с процессом образования происходит и объединение физически активных сажевых частиц в цепочки, длиной примерно 10 мкм. Фотометрический анализ загрязнения трансформаторного масла в контакторах РПН печных трансформаторов от количества переключений приведен на рис. 1.



а)



б)

Рисунок 1 – Продукты термического разложения трансформаторного масла (x 200): а) при 10 тыс. переключений; б) при 15 тыс. переключений

Для того, чтобы судить о динамике загрязнения трансформаторного масла в зависимости от наработки механизма переключения контактора, была проведена серия экспериментов. Оценивалась степень загрязнения масла и гранулометрический состав механических примесей в зависимости от числа коммутаций.

Для проведения исследования была использована методика фотометрического подсчета частиц загрязнения. Исследования проводились с пробами трансформаторного масла, отобранного из переключающих устройств электропечных трансформаторов на Запорожском алюминиевом заводе и заводе "Днепроспецсталь". Число переключений для различных проб масла составляло от 1000 до 30000 циклов. Номинальный ток отключения - 150 А, напряжение 10 кВ.

Обобщенные результаты гранулометрического состава и подсчет количества частиц, загрязняющих трансформаторное масло в зависимости от числа проведенных коммутаций, представлены в табл. 1.

По данным, приведенным в табл. 1, на рис. 2 по-

казана диаграмма роста загрязнения трансформаторного масла в зависимости от числа переключений.

**Таблица 1 – Гранулометрический состав загрязнений трансформаторного масла при соответствующем количестве переключений**

Число переключений, тыс.	Размеры частиц, мкм				
	1-5	5-7	7-10	10-14	14-25
5	47	33	33	30	21
10	55	42	42	39	30
15	60	46	43	38	30
20	60	49	44	33	27

Анализ полученных результатов показывает, что с увеличением количества переключений, общее число частиц загрязнения возрастает, стремясь к некоторому пределу. Особенно заметен этот рост во время первых 10000 циклов за счет увеличения чис-

ла мелких (от 1 до 5 мкм) частиц. Стабилизация показателей загрязнения наступает примерно через 20000 переключений, что объясняется процессом осаждения коагулированных сажевых хлопьев (выпадение хлопьев уравнивает численный рост

вновь образованных частиц). По полученному графику наглядно можно представить степень загрязнения масла как функцию времени эксплуатации контактора.

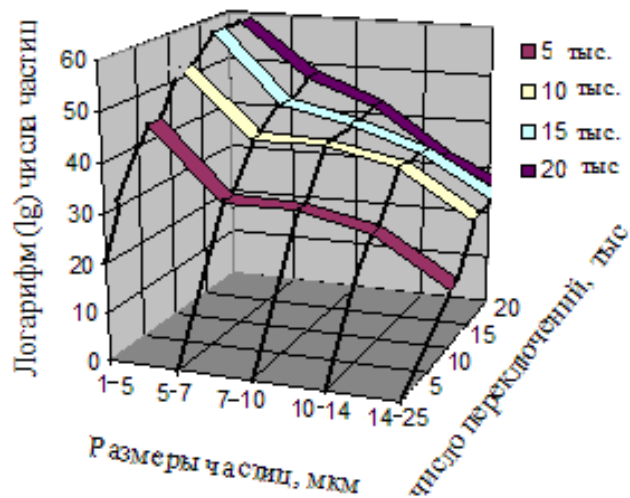


Рисунок 2 – Диаграмма зависимости роста загрязнений трансформаторного масла механическими примесями от числа переключений

При повторяющихся пробоях электрической дуги, наряду с формированием сажевых частиц в области разряда, становятся возможными и вторичные процессы: выгорание углерода на поверхности частиц, конденсация молекул углеводородов с образованием кокса, смол и т.д.

В вопросах электрической прочности трансформаторного масла важно, что в большинстве случаев вторичные структуры способны поглощать воду из окружающей среды, становясь проводящими мостиками для последующих газовых разрядов. Отмечено, что при содержании 0,005% механических примесей в масле, пробивное напряжение его снижается на 25% [1].

**Выводы.** Из результатов выполненных исследований следует:

- 1) состав механических примесей в трансформаторном масле бака контактора с 15 тыс. переключений стабилизируется;
- 2) при количестве переключений, превышающих 15 тыс., дальнейший рост углеродистых включений приводит к осаждению примесей на контактную систему, что является причиной изменения диэлектрических свойств межконтактного промежутка;
- 3) в исследуемой конструкции РПН рекомендуется проводить замену трансформаторного масла в

баке контактора при количестве переключений, не превышающих 15 тыс. коммутаций дугогасящих контактов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

1. Липштейн Р.А., Шахнович М.И. Трансформаторное масло. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 296 с.
2. Хабибуллина Л.Р., Ибрагимов Р.Г., Коваль А.В., Тутубалина В.П. К вопросу стабильности трансформаторного масла // Известия ВУЗов. Проблемы энергетики. – 2003. – №9-10. – С. 130-134.
3. Хабибуллина Л.Р., Тутубалина В.П. Влияние сернистых соединений на термостабильность трансформаторного масла. – Четвертая Российская научно-техническая конференция. – Ульяновск. – УлГТУ. – 2003.
4. Хабибуллина Л.Р., Тутубалина В.П. О термической стабильности трансформаторных масел // Известия ВУЗов. Проблемы энергетики. – 2003. – №5-6. – С.15-21.
5. Хабибуллина Л.Р., Коваль А.В., Тутубалина В.П. Контроль состояния трансформаторного оборудования методом хроматографического анализа газосодержания в масле // Изв. ВУЗов. Проблемы энергетики, 2002.

Стаття надійшла 21.04.2006 р.