

6п2.1
0779

Библиотека
ЭЛЕКТРОМОНТЕРА

И. С. АПТОВ
М. В. ХОМЯКОВ

**Уход
ЗА ИЗОЛЯЦИОННЫМ
МАСЛОМ**

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

с1000979

602.1
А719
БИБЛИОТЕКА ЭЛЕКТРОМОНТЕРА

Выпуск 27

И. С. АПТОВ и М. В. ХОМЯКОВ

УХОД ЗА ИЗОЛЯЦИОННЫМ МАСЛОМ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1960 ЛЕНИНГРАД

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Васильев А. А., Долгов А. Н., Ежков В. В., Смирнов А. Д.,
Устинов П. И.

ЭЭ-3-3

Брошюра рассчитана на монтеров и мастеров, занимающихся эксплуатацией высоковольтных маслонаполненных аппаратов и трансформаторов.

В брошюре описываются наиболее существенные вопросы ухода за изоляционным (трансформаторным) маслом.

В брошюре излагаются краткие сведения о составе изоляционных масел, их физико-химических свойствах, очистке, сушке, восстановлении и стабилизации изоляционных масел.

Государственная публичная
библиотека
им. В. Г. Беллинского
г. Свердловск



Авторы: Аптов Иосиф Соломонович и Хомяков Михаил Васильевич
УХОД ЗА ИЗОЛЯЦИОННЫМ МАСЛОМ

Редактор Е. Д. Демков

Техн. редактор Н. И. Борунов

Сдано в набор 11/VII 1960 г.

Подписано к печати 5/IX 1960 г.

Т 11639 Бумага 84×108¹/₃₂

3,69 п. л.

Уч.-изд. л. 4,2

Тираж 20 000 экз. Цена 1 р. 50 к. (с 1. I. 1961 г. цена 15 к.). Зак. 2354

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

1. ВВЕДЕНИЕ

Нефтяное изоляционное (трансформаторное) масло широко используется как диэлектрик и охлаждающая среда во многих аппаратах и трансформаторах. В эксплуатации находятся сотни тысяч тонн трансформаторного масла. Эксплуатация этого масла в настоящее время связана со значительными затратами. Вследствие недостаточной стабильности масел физико-химические показатели их быстро изменяются и достигают пределов, определяемых правилами технической эксплуатации и действующими нормами.

Малый срок службы масла может быть следствием несовершенства технологического режима изготовления масел на заводах, влияния некоторых материалов трансформаторов на ускорение окисления масла, недостаточной разработки конструкции аппаратов и трансформаторов, направленной на обеспечение длительной работы масла, и неудовлетворительных условий эксплуатации трансформаторного масла.

В составе масла имеются ароматические углеводороды, способствующие его стабилизации, и поэтому полное удаление их из масла при очистке нежелательно. Кроме того, повышение стабильности масла может быть достигнуто посредством искусственно вводимых антиокислительных присадок.

В современных конструкциях аппаратов и трансформаторов предусматривается такая защита масла, которая позволяет длительное время эксплуатировать его без частого отбора проб и замены или восстановления масла.

В эксплуатации в настоящее время находится еще большое количество устаревших конструкций аппаратов и трансформаторов, и примененные в них изоляционные масла отличаются нестабильностью и имеют малый срок

службы. Так, например, изоляционное масло в маслona-полненных вводах со стеклянными расширителями в ряде случаев приходит в неудовлетворительное состояние в течение 1 г., а в силовых трансформаторах без термосифонных фильтров достигает браковочных норм в течение 3—5 лет. Такое положение наносит значительный материальный ущерб народному хозяйству страны, исчисляемый в сотнях миллионов рублей и выражающийся в уменьшении сроков межремонтного периода, в большом расходе масел и средств, необходимых для его замены и восстановления, в необходимости содержать большой штат работников, занимающихся отбором проб, их испытанием, а также же уходом и восстановлением масел.

Указанное положение вызвало необходимость изыскивать способы, позволяющие удлинить сроки эксплуатации изоляционных масел, упростить и удешевить эксплуатацию.

Ниже освещается опыт работ, проводимый в этом направлении в одной энергосистеме.

К числу описываемых разработок относятся применение антиокислительных присадок, воздухоосушительных фильтров с масляным затвором, азотирование масла, применение защитных мешков с инертным газом (азотом), сушка масла вакуумом или сухим воздухом, а также упрощенные методы контроля за маслом и удлинение срока отбора проб, разработанного с учетом особенностей аппаратов и методов их эксплуатации.

2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СОСТАВЕ И ПРИГОТОВЛЕНИИ ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА

Трансформаторное масло изготавливается из нефти. Нефть по своему элементарному составу в основном состоит из углерода и водорода и ее главной составляющей частью являются углеводороды. Кроме углеводородов, в нефтях в незначительном количестве содержатся кислородные, сернистые и азотистые соединения нефти.

Трансформаторное масло представляет собой смесь трех основных групп углеводородов: парафиновых, наftenовых и ароматических. В зависимости от состава нефти, из которой изготовлено масло, и степени его очистки в нем в незначительном количестве могут содержаться смолистые вещества и органические кислоты.

При изготовлении трансформаторного масла от нефти вначале отделяются наиболее легкие углеводороды: бен-

зин, лигроин, керосин. Путем дальнейшей перегонки оставшейся части (мазута) получается соляровый дистиллят, из которого и готовится трансформаторное масло.

Один из способов изготовления трансформаторного масла состоит в очистке солярового дистиллята серной кислотой, затем раствором щелочи с последующей промывкой водой до нейтральной реакции и до получения заданной натровой пробы.

Дистиллят в течение определенного времени обрабатывается крепкой серной кислотой, которая окисляет все непредельные соединения и смолы и превращает их в нерастворимый кислый гудрон, выпадающий в осадок. Образовавшиеся сульфокислоты, свободная серная кислота и нафтеновые кислоты удаляются путем обработки водным раствором щелочи. Образующиеся при этом соли, мыла отделяются отстаиванием. После отстоя масло промывается водой и просушивается.

Иногда дополнительно применяется обработка масла мелкоразмолотой отбеливающей землей.

Очистка трансформаторных масел из сернистых нефтей осуществляется с применением избирательных растворителей и способом гидросчитки (обработка водородом под большим давлением и высокой температурой).

Изоляционное масло пропитывает и защищает волокнистую изоляцию трансформаторов, кабелей, конденсаторов от проникновения извне воздуха и влаги, является заполнителем воздушных полостей и пор.

Трансформаторное масло применяется как основной диэлектрик в различной высоковольтной аппаратуре. Для трансформаторов масло также является охлаждающей, а для масляных выключателей дугогасящей средой.

3. СТАРЕНИЕ МАСЛА В ЭКСПЛУАТАЦИИ

Масло окисляется под влиянием кислорода. Процессу окисления способствуют высокая температура, солнечный свет (в маслonaполненных вводах и маслоуказательных стеклах), лаковая изоляция, влага, металлы, в особенности медь, и другие материалы, с которыми соприкасается масло.

Особенно неблагоприятное влияние на окисление масла оказывает шлам, остающийся в трансформаторах в результате их недостаточно тщательной очистки при смене масла.

Процесс окисления масла распадается на два основных периода.

Начальный процесс окисления масла называется индукционным. Происходящие в этот период изменения в масле не обнаруживаются обычными методами технического анализа. В течение этого периода стабильность масла постепенно понижается.

В течение второго периода все свойства масла ухудшаются, масло темнеет, из светло-желтого становится коричневым, а иногда и мутным. Увеличивается кислотное число и зольность, появляются низкомолекулярные кислоты, которые разрушают изоляцию обмоток и вызывают коррозию металлов, затем появляются осадки, которые могут закупорить охлаждающие каналы и нарушить охлаждение трансформатора.

При попадании в масло воды извне и в результате окисления самого масла снижается электрическая прочность масла.

Нормально в процессе эксплуатации вязкость и температура вспышки масла увеличиваются вследствие испарения легких фракций масла. Однако, если в трансформаторе или аппарате появятся местные перегревы, например из-за неисправности контактов или образования короткозамкнутых контуров в магнитопроводах, заземлениях или витковых замыканиях обмоток, может происходить крекинг-процесс (разложение масла при высокой температуре без доступа воздуха), температура вспышки масла может понизиться, что указывает на имеющуюся неисправность в аппарате или трансформаторе.

Температура вспышки масла может понизиться также, если масло заливалось для перевозки в тару из-под бензина или керосина.

Существенное влияние на скорость процесса окисления масла оказывает действие солнечного света. Так, например, в стеклянных расширителях высоковольтных вводов под действием солнечного света масло быстро приобретает кислую реакцию водной вытяжки и выделяется большое количество осадка шлама.

При попадании в масло даже незначительного количества воды пробивная прочность масла резко падает. На рис. 1 показано снижение пробивного напряжения чистого сухого масла при добавлении к нему воды. Вред, причиняемый водой, не ограничивается снижением электрической прочности масла. Установлено, что в присутствии воды значительно быстрее происходят процессы окисления масла и разрушение органической изоляции и особенно

хлопчатобумажной нити, витковой изоляции обмоток трансформаторов. Кроме того, вода увеличивает воздействие масла на стальные части аппаратов и трансформаторов, что, кроме того, приводит к обильному выделению осадков из масла.

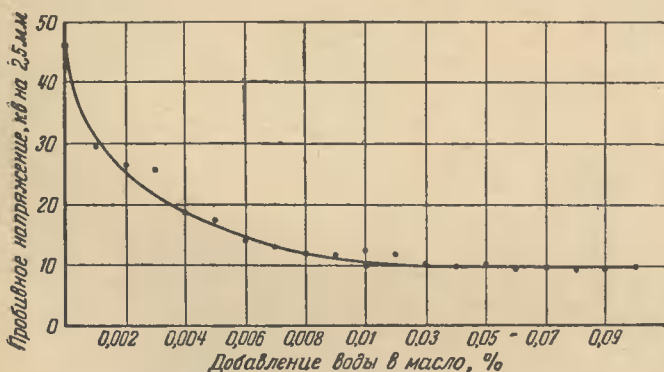


Рис. 1. Снижение пробивного напряжения чистого сухого масла (с пробивным напряжением 46 кВ в стандартном разряднике) при добавлении к нему воды.

В электрическом поле старение масла протекает более энергично. Нейтральные молекулы масла поляризуются и более активно соединяются с кислородом, окисление масла усиливается, количество шлама увеличивается.

4. ОТБОР ПРОБ МАСЛА ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ

Отбор проб масла на испытание должен производиться с большой тщательностью и аккуратностью, так как незначительное увлажнение и загрязнение может привести к искажению результатов испытания и неправильному заключению о состоянии масла и вызвать ненужные затраты на очистку или замену годного для эксплуатации масла.

Взятие проб масла из аппаратуры открытой подстанции должно производиться в сухую погоду. Перед взятием проб масла следует протереть чистой и сухой тряпкой кран или пробку от грязи и пыли. Затем, подставив под кран или пробку ведро, слегка открывают кран или пробку, спускают масло в количестве, достаточном для промывки отверстия крана. Для отбора проб масла должны применяться только чистые сухие пронумерованные стеклянные банки с притертыми пробками (типа донорских) емко-

стью от 0,5 до 1 л. Банка дважды ополаскивается маслом, отбираемым из аппарата или трансформатора, затем заполняется доверху и тщательно закрывается.

Стеклянные банки с маслом или пустые, внесенные в холодное время с улицы в теплое помещение, могут увлажниться конденсирующей из воздуха влагой, поэтому они должны держаться закрытыми в течение 3—4 ч, пока не примут температуру помещения и только после этого их можно открывать.

Проба масла должна сопровождаться ярлыком, содержащим следующие сведения:

- а) номер банки;
- б) дата отбора пробы;
- в) наименование организации (подстанция);
- г) наименование аппарата или трансформатора и его номер;
- д) напряжение;
- е) причина отбора пробы (новое включение, плановая или аварийная);
- ж) какое испытание пробы масла следует произвести в лаборатории (электрическую прочность, сокращенный или полный анализ);
- з) подпись отбравшего пробу масла.

Отбор светлых энергетических масел из цистерн производится в соответствии с ГОСТ 2517-60.

По проекту новых правил технической эксплуатации все находящееся в эксплуатации изоляционное масло должно подвергаться испытаниям в следующие сроки:

- а) Сокращенные анализы — не реже 1 раза в 3 г. и после капитальных ремонтов трансформаторов и аппаратов.
- б) На проверку содержания взвешенного угля — после отключения многообъемным (баковым) масляным выключателем короткого замыкания величиной более половины паспортного значения тока короткого замыкания выключателя.

В малообъемных выключателях допускается вместо лабораторного испытания качества масла заменять его при капитальных ремонтах.

Если диэлектрические потери $\text{tg } \delta$ и отношение емкостей, измеренных при 2 и 50 гц, C_2/C_{50} трансформаторов имеют повышенные значения, то прежде, чем делать заключение об увлажненности трансформаторов, следует произвести измерение диэлектрических потерь масла.

Из герметизированных трансформаторов и конденсато-

ров пробы масла отбирать не следует, если по инструкции завода-изготовителя этого не требуется.

Уход за изоляционным маслом в эксплуатации значительно улучшился. Количество проб масла, имеющих браковочные показатели, в настоящее время в подавляющем большинстве предприятий незначительно. Большинство трансформаторов оборудованы термосифонными фильтрами и воздухоосушителями. На предприятиях начинают применяться антиокислительные присадки к маслу. Все это позволило значительно удлинить срок периодичности отбора проб масла и совмещать их с новыми прогрессивными сроками комплексных периодических ремонтов всей подстанции один раз в 3 года.

5. ОБЪЕМ ИСПЫТАНИЙ И НОРМЫ НА ИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАСЛА

Испытания изолирующих масел подразделяются на три категории.

а) Испытания на электрическую прочность, включающие определение пробоя масла, содержание воды, механических примесей, взвешенного угля, осадка и цвета масла.

б) Сокращенный анализ, включающий определение температуры вспышки, кислотного числа, реакции водной вытяжки и электрической прочности масла.

в) Полный анализ масла, включающий определение удельного веса, вязкости, содержания золы, активной серы, натровой пробы, температуры застывания, стабильности после окисления, склонности к образованию низкомолекулярных кислот в начале старения, тангенса угла диэлектрических потерь и показателей, входящих в сокращенный анализ масла.

Поступающее свежее масло, а также масло после регенерации должно быть подвергнуто полному химическому анализу.

Масло, находящееся в эксплуатации, испытывается на сокращенный анализ и электрическую прочность. Отобранные пробы масла должны быть доставлены в химическую лабораторию в срок не более 7 дней после их отбора.

Все масла, находящиеся в энергосистемах, можно разделить на следующие группы:

а) Свежее, не бывшее в работе масло в том виде, как оно поступило с завода.

б) Чистое сухое масло; это может быть свежее масло, масло, бывшее в эксплуатации, регенерированное, или

Нормы на изоляционные (трансформаторные) масла

Таблица 1

№ п.п.	Наименование показателей	Масло трансформаторное ГОСТ 952-56	Масло трансформаторное из сернистых нефтей		Эксплуатационное масло	Методы испытаний
			товарное масло с топанолом ВТУ НП № 30-59	масло гидроочищенное		
1	Механические примеси	Отсутствие	Отсутствие	Отсутствие	Допускается незначительное количество	Свежее масло ГОСТ 6370-59, находящееся в эксплуатации, Инструкция ТУ МЭС 1957 г.
2	Вязкость кинематическая, в ССТ, не более					
	а) при 20° С	30	23—28	17—25	Не нормируется	ГОСТ 33-53
	б) при 50° С	9,6	8—9	6,5—7,5	11,4	ГОСТ 33-53
3	Температура вспышки, определяемая в закрытом тигле, °С, не ниже	135	150	145	Снижение не более чем на 5° С от первоначальной	ГОСТ 6356-52
4	Реакция водной вытяжки (водорастворимые или низкомолекулярные кислоты)	Нейтральная	Нейтральная	Нейтральная	Нейтральная или содержание водорастворимых (низкомолекулярных) кислот, не превышающее 0,014 мг КОН на 1 г масла	ГОСТ 6307-60 и количественное определение по инструкции ТУ МЭС 1957 г. для масел, находящихся в эксплуатации
5	Кислотное число на 1 г масла, мг КОН, не более	0,05	0,02	0,02	0,4	Для свежего масла ГОСТ 5985-51, находящегося в эксплуатации. Инструкции ТУ МЭС 1957 г.

№ п. п.	Наименование показателей	Масло трансформаторное ГОСТ 952-55	Масло трансформаторное из сернистых нефтей		Эксплуатационное масло	Методы испытаний
			товарное масло с топаном ВТУ НП № 30-56	масло гидроочищенное		
6	Зольность, %, не более	0,005	0,005	0,005	0,01 .	ГОСТ 1461-59
7	Натровая проба с подкислением, балл., не более	2	1	1	Не нормируется	ГОСТ 6473-53
8	Температура застывания, °С, не выше	—45	—45	—45	Для местностей с температурой воздуха не ниже —20° С	Для остальных местностей } ГОСТ 1533-42
	а) для масляных выключателей	—	—	—	—35	
	б) для трансформаторов	—	—	—	Не нормируется	
9	Содержание воды	—	—	—	Отсутствие	ГОСТ 1547-42
10	Содержание взвешенного угля	—	—	—	Отсутствие	Инструкция ТУ МЭС 1957 г.
	а) в трансформаторах	—	—	—		
	б) в масляных выключателях	—	—	—	Незначительное количество	Инструкция ТУ МЭС 1957 г.

№ п/п.	Наименование показателей	Масло трансформаторное ГОСТ 982-66	Масло трансформаторное из сернистых нефтей		Эксплуатационное масло		Методы испытаний
			товарное масло с товарным ВТУ НП № 30-59	масло гидроочищенное			
11	Прозрачность при $+5^{\circ}\text{C}$	Прозрачно	Прозрачно	Прозрачно	Не нормируется		Масло, налитое в стеклянную пробирку 30—40 мм, при охлаждении до $+5^{\circ}\text{C}$ должно оставаться прозрачным
12	Электрическая прочность масла, кВ, не ниже	—	—	—	В аппаратах	Свежее сухое регенерированное непосредственно после заливки его в аппараты	—
	а) для аппаратов напряжением до 10 кВ включительно	Не нормируется	Не нормируется	Не нормируется	20	35	—
	б) для аппаратов напряжением от 11 до 35 кВ	То же	То же	То же	25	35	ГОСТ 6581-53 и дополнение, приведенное в тексте
	в) для аппаратов напряжением выше 35 до 220 кВ	»	» »	» »	35	40	—
	г) для аппаратов напряжением выше 220 до 500 кВ	»	» »	» »	45	50	—

№ п/п.	Наименование показателей	Масло трансформаторное ГОСТ 982-56	Масло трансформаторное из сернистых нефтей		Эксплуатационное масло	Методы испытаний
			товарное масло с топанолом ВТУ НП № 30-59	масло гидроочищенное		
13	Общая стабильность против окисления:					} ГОСТ 981-55
	а) количество осадков после окисления, %, не более	0,1	Отсутствие	0,04	Не нормируется	
	б) кислотное число окисленного масла, мг КОН на 1 г масла, не более	0,35	0,10	0,42	Не нормируется	
14	Склонность к образованию водорастворимых кислот в начале старения:					
	а) содержание нелетучих водорастворимых кислот, в мг КОН на 1 г масла, не более	0,005	0,005	0,003	Не нормируется	
	б) содержание летучих водорастворимых кислот, мг КОН на 1 г масла, не более	0,005	0,005	0,004	Не нормируется	} ГОСТ 8657-57
15	Содержание серы, %, не более	—	0,6	0,2	—	

№ п/п.	Наименование показателей	Масло трансформаторное ГОСТ 982-56	Масло трансформаторное из сернистых нефтей		Эксплуатационное масло	Методы испытаний
			товарное масло с топанолом ВТУ НП № 30-95	масло гидроочищенное		
16	Тангенс угла диэлектрических потерь: а) при 20° С, %, не более б) при 70°, %, не более	0,3 2,5	0,3 2,5	0,15 1,2	2,0 7,0	ГОСТ 6581-53 и дополнение п. 4 ГОСТ 982-56

Примечания: 1. Электрическая прочность масла в баках масляного хозяйства или в таре перед заливкой в аппаратуру должна быть на 5—10 кВ выше электрической прочности, указанной в графе „Свежее или регенерированное масло после заливки в аппараты“.

2. Изоляционное масло в трансформаторах и аппаратах должно быть заменено или подвергнуто фильтрации или сепарации при понижении электрической прочности до величины, близкой к нормам на эксплуатационное масло, или обнаружении в масле в большом количестве механических примесей.

3. Масло трансформаторов, не удовлетворяющее нормам (по химическим показателям или t_г 3), должно быть восстановлено с применением следующих способов:

а) присоединением к трансформаторам термосифонных фильтров с силикагелем КСК, активной окисью алюминия или другим сорбентом;

б) обработки масла отбеливающей землей.

4. По ГОСТ 982-56 выпускается масло с присадкой ВТИ-1. Масло трансформаторное с присадкой ВТИ-1 должно удовлетворять всем требованиям ГОСТ 982-56 за исключением кислотного числа п. 5 таблицы, которое не должно быть более 0,03 мг КОН и общей стабильности против окисления п. 13 кислотное число окисленного масла должно быть не более 0,2 мг КОН и количество осадка после окисления не более 0,05%. Масло содержит присадку ВТИ-1 (параоксидидениламин) в пределах 0,009 до 0,015%. Количественное определение содержания присадки ВТИ-1 в масле производится по ГОСТ 6448-53.

5. Масло из восточных сернистых нефтей фенольной очистки должно проверяться на отсутствие фенола по ГОСТ 1057-41. Это масло выпускается с антиокислительной присадкой „Топанол“.

6. Плотность гидроочищенного масла из сернистых нефтей не более 0,89 по ГОСТ 3900—47.

7. Цвет гидроочищенного масла, мм, не менее (стекло № 2) 15 ГОСТ 2667-52 или ГОСТ 8933-58.

смесь этих масел, отвечающая всем требованиям ГОСТ 982-56, просушенное и годное для заливки в аппараты.

в) Эксплуатационное масло, залитое в аппаратуру и находящееся в работе.

г) Отработавшее масло, изъятое из обращения вследствие того, что оно не соответствует одному или нескольким показателям норм на изоляционное масло и которое может быть исправлено только посредством регенерации.

Масло после регенерации перколяционными установками и сорбентами должно удовлетворять нормам на свежее сухое масло за исключением кислотного числа, которое не должно быть выше $0,07 \text{ мг КОН}$. В случае необходимости смешения масел или доливки масла в количестве, превышающем по объему 5% от всего количества масла в оборудовании, смесь масла должна предварительно подвергнуться испытанию на допустимость такого смешения. При этом смесь должна удовлетворять по стабильности нормам ГОСТ на свежее масло.

Масло из сернистых нефтей (восточное) разрешается заливать во все маслonaполненное оборудование напряжением до 220 кв включительно.

В аппаратах и трансформаторах, имеющих торцовые контакты, при возможности залить другими изоляционными маслами, масла, содержащие серу, временно применять не рекомендуется. За оборудованием, залитым восточным маслом, для накопления опыта эксплуатации должен быть установлен усиленный контроль, заключающийся в более частом отборе проб масла, измерении сопротивления постоянному току контактов выключателей, очистке контактов переключателей трансформаторов от оксидной пленки путем многократных переключений (без напряжения) по всему диапазону регулировки.

При выходящем за пределы норм возрастании переходного сопротивления контактов необходимо произвести зачистку контактов от оксидной пленки.

Нормы на свежее и находящееся в эксплуатации изоляционное (трансформаторное) масло приводятся в табл. 1.

6. ОСНОВНЫЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ИЗОЛЯЦИОННОГО МАСЛА

В настоящее время трансформаторное масло выпускается нефтяной промышленностью по ГОСТ 982-56. Выпущена также опытная партия трансформаторного масла

из восточных сернистых нефтей по временным техническим условиям ВТУ 30-59.

Для заполнения высоковольтных конденсаторов изготавливается изоляционное конденсаторное масло повышенной очистки по ГОСТ 5575-51.

По действующему в настоящее время ГОСТ 982-56 масло выпускается двух марок: а) масло трансформаторное с присадкой ВТИ-1 и б) масло трансформаторное.

Масло трансформаторное с присадкой ВТИ-1 содержит присадку ВТИ-1 (парооксидифениламин) в пределах 0,009 до 0,015%.

Масло стабилизированное присадкой ВТИ-1 имеет несколько лучшую стабильность, так, например, после искусственного окисления по методу, изложенному в ГОСТ 981-55 масло с присадкой ВТИ-1 дает осадок не более 0,05%, а не стабилизированное 0,1%; кислотное число окисленного масла в тех же условиях для стабилизированного масла не превышает 0,2 мг КОН, а для нестабилизированного — 0,35 мг КОН.

Кислотное число трансформаторного масла, выпущенного с завода с присадкой ВТИ-1, не превышает 0,03 мг КОН, а нестабилизированного 0,05 мг КОН.

По ранее действовавшему до 1/IX 1953 г. ГОСТ 982-43 трансформаторное масло выпускалось двух сортов: с температурой застывания не выше —35° С и с температурой застывания не выше —45° С.

Трансформаторное масло с температурой застывания не выше —35° С предназначалось для высоковольтных аппаратов южных районов страны и для трансформаторов всех районов СССР.

Согласно правилам технической эксплуатации температура застывания изоляционных масел для масляных выключателей, находящихся в неотапливаемых помещениях или в открытых распределительных устройствах, в районах, где температура наружного воздуха не бывает ниже —20° С, должна быть не выше —35° С, а масляных выключателей в остальных районах — не выше —45° С.

Для трансформаторов температура застывания масла не нормируется.

Ниже приводятся сведения об основных физико-химических свойствах трансформаторного масла.

Цвет масла

Цвет свежего масла обычно светло-желтый, 1—2-й номер по цветной таблице.

В эксплуатации под влиянием нагрева, загрязнений и образующихся при окислении смол и осадков масло темнеет и приобретает разные оттенки, вплоть до темно-коричневой окраски.

Темный цвет в свежем масле указывает на недостаточно хорошую очистку или загрязнение масла при перевозке. Быстрое и сильное потемнение масла в эксплуатации указывает на его перегрев.

Сильное потемнение цвета масла происходит также от образующегося в масле угля.

Цвет масла не является браковочным показателем и действующими инструкциями не нормируется. Однако этот показатель может служить ориентировочной оценкой качества масла, как указано выше.

Определение цвета производится путем сравнения масла в пробирке с набором из девяти таких же пробирок, содержащих масло разных цветов, от соломенно-желтого до темно-коричневого (шкала Оствальда).

Определение цвета масла производится после фильтрации пробы масла через два бумажных фильтра.

Механические примеси

Механическими примесями считаются все вещества, находящиеся в трансформаторном масле в виде осадка или во взвешенном состоянии. Все виды загрязнений можно свести к следующим группам.

а) механические загрязнения и примеси, попавшие в масло в результате растворения красок, лаков и бакелитовой и хлопчатобумажной изоляции;

б) уголь, образовавшийся в результате горения электрической дуги;

в) осадки—шлам, образовавшийся при старении масла.

При разложении масла электрической дугой, кроме газов, образуется еще некоторое количество твердых обуглившихся частиц черного цвета, которые называют взвешенным углеродом. По синеватому отсвету и по усиленной флуоресценции всегда можно определить масло, в котором горела электрическая дуга. Все эти загрязнения влияют только на состояние масла, но не на основные его свой-

ства, и могут быть легко удалены соответствующей очисткой.

Осадками (шламом) называются нерастворимые продукты старения — распада масла, образовавшиеся в процессе его эксплуатации. Наличие в масле осадков представляет опасность для трансформаторов и выключателей, так как они обычно сильно гигроскопичны и их отложения на поверхности изоляции могут приводить к перекрытиям. Кроме того, осадки могут закупоривать каналы между обмотками трансформаторов и ухудшать их охлаждение.

Наличие осадка в масле может быть определено согласно инструкции [Л. 1] следующим образом: банка с испытуемым маслом после длительной (более 12-часовой) выдержки в помещении осторожно, без взбалтывания, переворачивается дном вверх. При наличии осадка на дне банки образуется видимое кольцо шлама. Наличие этого кольца служит показателем присутствия осадка в недопустимых размерах. При наличии даже следов осадка необходимо произвести испытание масла на растворимость в авиационном бензине, предварительно перегнанном (фракции 60—120° освобожденной от ароматических углеводородов). Для этой цели испытуемое масло в количестве 20 мл заливается в мерный цилиндр, в который добавляется 80 мл бензина. Содержимое цилиндра хорошо перемешивается и оставляется в состоянии покоя на 24 ч, после чего осматривается. При наличии осадка масло подлежит фильтрации или центрифугированию.

Наличие волокон и пыли в масле может снизить электрическую прочность масла.

Наличие механических загрязнений по внешнему виду может быть определено по той же инструкции следующим образом.

Пробу масла в стандартной полулитровой банке с притертой пробкой перемешивают, встряхивают и затем просматривают на дневном или электрическом свете.

В случае наличия в банке с маслом емкостью 0,5 л большого количества мелких загрязнений (ворсинок), которые трудно сосчитать, или крупных частиц масло необходимо профильтровать или обработать на центрифуге.

Если в стандартной банке с маслом можно сосчитать не более 10 ворсинок, масло может быть оставлено в эксплуатации без применения средств его механической очистки.

Определение наличия в масле взвешенного углерода (угля) производится по той же инструкции следующим образом. Испытуемое масло заливается в четырехугольную стеклянную банку из белого стекла (типа донорской). На одной стороне банки с внешней стороны приклеивается листок кальки — восковки с нанесенными черной тушью линиями толщиной 1,0; 0,5 и 0,1 мм. Банку с испытуемым маслом помещают в прибор, показанный на рис. 2 (предло-

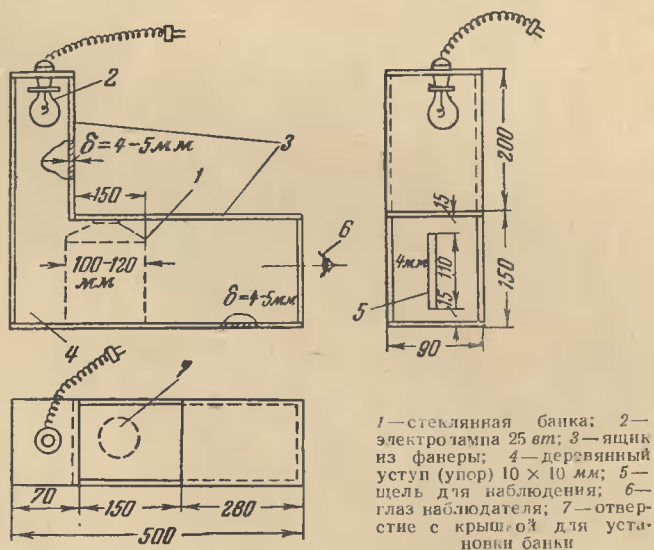


Рис. 2. Прибор для определения содержания углерода в масле.

жен работниками Горэнерго). Содержание взвешенного углерода устанавливается просвечиванием слоя масла в 10—12 см электролампой мощностью 25 вт. Лампа расположена в вертикальном выступе ящика. Просмотр линий производится через щель шириной 4 мм, глаз наблюдателя должен находиться приблизительно на расстоянии 50 см от черных линий. Качество масла из выключателей определяется по видимости линий:

1. Через слой масла четко и ясно видны все три линии — содержание углерода в испытуемом масле соответствует 1 баллу.

2. Линия 0,5 мм видна нечетко, а линия 1 мм четко — содержание углерода соответствует 2 баллам.

3. Линия 0,5 мм не видна — содержание углерода соответствует 3 баллам.

Браковка масла из выключателей по содержанию взвешенного углерода производится следующим образом:

а) масло с содержанием углерода 1 балл может быть оставлено в эксплуатации;

б) масло с содержанием углерода 2 балла должно быть очищено при помощи фильтрпресса;

в) масло с содержанием углерода 3 балла должно быть заменено или восстановлено.

Вода в масле

Появление воды в масле указывает на нарушение герметичности аппаратов либо на далеко зашедшее старение масла.

Вода в масле может содержаться в трех видах:

а) осажденная (на дне резервуара) вода, она не представляет прямой опасности для пробивного напряжения масла, но недопустима потому, что может перейти в растворенное состояние или перейти в находящиеся в баке изоляционные материалы;

б) взвешенная в масле в виде мельчайших капель или находящаяся в виде эмульсии; эта вода в разной мере снижает электрическую прочность масла;

в) растворенная вода проникает в масло обычно из воздуха при изменении объема масла вследствие его попеременного нагрева и охлаждения.

Наличие воды в масле качественно определяется следующим образом: пробирку с испытуемым маслом вставляют вертикально в нагретую до 175°С баню и наблюдают за пробиркой с маслом в течение нескольких минут, до достижения температуры масла в пробирке 150°С. В случае наличия в испытуемом масле влаги оно пенится, слышится потрескивание, а слой масла на стенках пробирки мутнеет.

Электрическая прочность масла

Если напряжение, приложенное к диэлектрику, постепенно повышается, то при достижении определенного значения напряжения сопротивление диэлектрика внезапно падает почти до нуля, и ток большой величины в виде искры или электрической дуги протекает через диэлектрик. Это критическое напряжение называется пробивным напряжением и характеризует электрическую прочность или способность

образца диэлектрика противостоять электрическому разряду.

Величина пробивного напряжения зависит от целого ряда факторов:

- а) формы и размеров электродов;
- б) расстояния между ними;
- в) давления;
- г) температуры;
- д) характера приложенного напряжения (постоянное, переменное);
- е) загрязнения водой, волокнами и другими примесями.

По действующим в СССР нормам (ГОСТ 6581-53) испытание масла на электрическую прочность производится между плоскими параллельными дисками с закругленными краями, диаметром 25 мм, при расстоянии между ними 2,5 мм. Перед началом испытания ванна и электроды должны быть промыты несколько раз сухим чистым маслом с электрической прочностью не ниже 45 кВ. Наличие пробоя устанавливается по возникновению сплошного потока искр между электродами, причем случайная единичная искра в расчет не принимается. В случае если среднее из пяти пробоев налитого в ванну заведомо сухого и чистого масла дает низкое значение пробивного напряжения, ванну с электродами вновь промывают, потом вновь наполняют сухим маслом и вновь определяют пробивное напряжение. Такую промывку ванны с электродами производят до тех пор, пока среднее из пяти пробоев даст значения пробивного напряжения не менее 45 кВ.

Поступившая на испытание проба трансформаторного масла должна постоять в помещении лаборатории несколько часов, чтобы принять комнатную температуру (летом 2—3 ч, зимой 8—12 ч).

Во избежание возможности увлажнения сосуда и электродов необходимо масло до испытания на электрическую прочность проверить предварительно на отсутствие воды методом потрескивания, а в случае наличия воды определение электрической прочности масла производить не следует во избежание увлажнения электродов и разрядников, а в протоколе, в графе «Электрическая прочность масла», отметить, что испытание масла на электрическую прочность не произведено ввиду наличия большого количества воды.

Перед заливкой ванны подлежащее испытанию масло взбалтывают в присланной банке. Взятая на испытание проба масла не должна быть каким-либо образом подсу-

шена. Перед заливкой ванны с электродами последние необходимо ополоснуть испытуемым маслом и только после этого заполнить разрядник. После этого выжидают 10 мин при одногнездном маслопробойном аппарате и 5 мин с момента заполнения последнего сосуда при шестигнездном аппарате. Это делается для того, чтобы попавшие в масло пузырьки воздуха всплыли на поверхность. Затем включают аппарат и плавно, со скоростью 2—5 кв в 1 сек повышают напряжение до пробоя.

После каждого пробоя из промежутка между электродами должны быть удалены обугленные частицы масла (стеклянным или металлическим стержнем).

Всего производят последовательно пять пробоев с интервалом между пробоями 5 мин при одногнездном сосуде и 1 мин с момента последнего пробоя при шестигнездном аппарате.

За пробивное напряжение принимают среднее из пяти последовательных пробивных напряжений при одном неизменном заполнении разрядников испытуемым маслом.

В случае если первый пробой будет резко отличаться от последующих, необходимо сделать шестой пробой этого масла, значение первого пробоя во внимание не принимать, а за электрическую прочность масла следует принять среднее из последующих пяти пробоев.

После испытания сырого масла сосуд, электроды, палочку для перемешивания следует промыть чистым сухим маслом и просушить, затем залить сухим чистым маслом и оставить в аппарате до следующего дня. Перед началом испытания это масло проверяют на пробой. Такую промывку производят до тех пор, пока среднее пробивное напряжение из пяти последовательных пробоев заведомо сухого масла даст значение не менее 45 кв.

Если требуется ускорить промывку сосуда и электродов после испытания сырого масла, то такую промывку можно осуществить чистым спиртом, который отнимает всю влагу, затем производится промывка петролейным эфиром, который поглотит оставшийся спирт, а остатки петролейного эфира быстро испарятся, особенно если промываемые детали поместить в термостат.

В случае отсутствия спирта и петролейного эфира промывка может быть произведена чистым авиационным или бензином «галоша».

Ванну с электродами после окончания испытания необходимо тщательно промыть сухим маслом, затем залить

сухим и чистым маслом и так оставить в аппарате до следующих испытаний. Перед началом испытаний это масло проверяют на пробивное напряжение и затем выливают в грязное масло.

Перед каждым испытанием необходимо имеющимся при аппарате щупом (2,5 мм) проверять расстояние между электродами.

При заметном потемнении электродов разрядника их необходимо отполировать замшей.

Не реже одного раза в год пробойник следует доставлять в лабораторию для полной его проверки и испытания.

Температура вспышки

Температурой вспышки называется температура, при которой пары масла, нагреваемого в закрытом сосуде, образуют с воздухом смесь, вспыхивающую при поднесении к ней пламени. Температура вспышки характеризует испаряемость масла. Чем ниже температура вспышки масла, тем больше его испаряемость. При испарении масла ухудшается его состав, растет вязкость, уменьшается объем и образуются вредные и взрывоопасные газы.

При нормальной работе трансформатора температура вспышки постепенно возрастает вследствие улетучивания легких фракций, однако иногда температура вспышки масла резко уменьшается, что является причиной крекинг-процесса внутри аппарата или трансформатора и связано с повреждениями трансформатора и, как правило, при этом срабатывает газовая защита от выделяющихся газов в газовом реле.

Определение характера повреждений внутри трансформатора по понижению температуры вспышки и по составу выделяющихся газов в газовом реле представляет практический интерес, так как своевременное устранение этих повреждений имеет большое значение для безаварийной работы и сохранения оборудования от разрушения и пожара.

Исследования выделяющихся в газовом реле газов как в эксплуатационных условиях, так и на лабораторной установке показали, что при различных характерах повреждений внутри трансформаторов состав этих газов значительно отличается друг от друга.

При повреждениях, связанных с разрядом через электрическую дугу в масле, содержание водорода в газе доходит до 50—65%.

При повреждении твердой изоляции вследствие перегрева или виткового замыкания содержание водорода в газе уменьшается.

Было установлено, что при повреждении трансформаторов даже в начальной стадии в выделяющемся газе всегда обнаруживается пониженное по сравнению с воздухом содержание кислорода.

Полученные результаты показывают, что при содержании кислорода в газе менее, чем 20%, при температуре масла не более 80°С уже можно предположить наличие повреждения в трансформаторе.

По мере развития повреждения содержание кислорода в газе все время будет уменьшаться.

Для отбора проб газа из газового реле применяются специальные приборы, состоящие из газовых пипеток, заполненных 10%-ным раствором серной аккумуляторной кислоты.

При выливании из пипетки раствора происходит отбор газа из газового реле в освободившийся объем пипетки.

Испытание газов на содержание углекислого газа, кислорода, окиси углерода, водорода, непредельных и предельных углеводородов производят на газоанализаторе, например, ВТИ-2.

Для предотвращения аварий и выявления возникающих повреждений трансформаторов и выключателей в нормах на эксплуатационное масло предусмотрено периодическое определение температуры вспышки масла. Если температура вспышки масла снизится более чем на 5°С, то это является признаком наличия дефекта в трансформаторе или в аппарате, почему и должно быть дано заключение о внутреннем осмотре для выявления дефекта.

Определение температуры вспышки трансформаторного масла производится по методике, изложенной в ГОСТ 6356-52.

Кислотное число

Кислотным числом масла называется количество миллиграммов едкого кали, необходимого для нейтрализации всех свободных кислот в 1 г масла.

В соответствии с ГОСТ 5985-51 метод определения кислотного числа свежих масел при приемочных испытаниях заключается в извлечении кипящим этиловым спиртом из масла всех свободных кислот, которые затем титруются спиртовым раствором едкого кали с индикатором алкаLIBLAU. Данный метод является сложным, требует нагре-

ва спирта, обратного холодильника, большого расхода спирта и времени для испытания.

Для многочисленных испытаний масла в эксплуатации, кислотное число которых значительно больше, чем свежих масел, рекомендуется более простой метод определения кислотного числа масел [Л. 1] при помощи спиртобензольной смеси.

Для определения кислотного числа при помощи спиртобензольной смеси поступают следующим образом.

В коническую колбу емкостью 100—250 мл берут навеску испытуемого масла, для светлых масел (свежих) 8—10 г, для темных (эксплуатационных) 4—5 г, с точностью до 0,01 г. В другую такую же колбу наливают 50 мл спиртобензольной смеси, состоящей из одной части 96—95° спирта ректификата и четырех частей чистого или предварительно перегнанного бензола, добавляют 0,5—1,0 мл спиртового раствора щелочного голубого или 1% раствора фенолфталеина и нейтрализуют спиртобензольную смесь несколькими каплями (из микробюретки) 0,05 н. спиртового раствора едкого кали (на нейтрализацию 50 мл спиртобензольной смеси должно расходоваться не более 0,1 мл 0,05 н. раствора КОН) до появления слабо фиолетового цвета. Затем нейтрализованный раствор вливают в колбу, содержащую навеску испытуемого масла, размешивают и титруют 0,05 н. спиртовым раствором едкого кали до изменения исходной окраски раствора. Кислотное число испытуемого масла в миллиграммах КОН на 1 г масла вычисляют по формуле:

$$K = \frac{VT}{g},$$

где K — кислотное число испытуемого масла;

V — объем 0,05 н. раствора едкого кали, употребленного на титрование навески масла в мл;

T — титр 0,05 н. раствора едкого кали, выраженный в миллиграммах;

g — навеска испытуемого масла в граммах.

Кислотное число испытуемого масла вычисляют как среднее арифметическое двух параллельных определений. Расхождение между параллельными определениями не должно превышать следующих величин:

а) при кислотном числе масла до 0,1 мг — не более 0,02 мг;

- б) при кислотном числе масла 1,0 мг—не более 0,05 мг;
в) при кислотном числе масла свыше 1,0 мг — не более 0,1 мг.

Водорастворимые кислоты и щелочи (реакция водной вытяжки масла)

Водорастворимые кислоты и щелочи могут появляться двумя путями:

а) При рафинировании и регенерации в масле могут остаться небольшие количества серной кислоты или щелочи;

б) в результате окисления масла, находящегося в эксплуатации, образуются низкомолекулярные кислоты, обуславливающие кислую реакцию водной вытяжки масла.

Наличие низкомолекулярных кислот в масле свидетельствует о глубоком разрушении масла или о его плохом качестве; наличие в масле низкомолекулярных кислот, являющихся агрессивными, вызывает коррозию металлов и старение твердой изоляции и масла.

Наличие в масле кислот и щелочей определяется с помощью индикатора.

Индикаторами называются химические соединения, способные резко изменять свой цвет в присутствии кислот и щелочей.

Для обнаружения кислот служит 0,02%-ный водный раствор метилоранжа.

Для щелочей и мыл служит индикатором 1%-ный спиртовой раствор фенолфталеина.

Определение наличия водорастворимых кислот и щелочей в масле по ГОСТ 6307-52 производится следующим образом. Наливают в делительную воронку равные объемы (по 50 мл) масла и дистиллированной воды, проверенной на нейтральность, подогревают до 70—80°С и взбалтывают в продолжение 5 мин. После отстоя водная вытяжка спускается в две пробирки. В первую пробирку прибавляют две капли раствора метилоранжа и сравнивают цвет испытуемой водной вытяжки с цветом такого же объема чистой дистиллированной воды, налитой в третью пробирку, в которую добавлено также две капли раствора индикатора метилоранжа. Окрашивание испытуемой водной вытяжки в розовый цвет указывает на наличие в масле водорастворимых кислот. Во вторую пробирку прибавляют три капли раствора индикатора фенолфталеина. Окрашивание раствора в розовый цвет указывает на наличие в масле щелочи.

Недостатком качественного метода определения водо-

растворимых или низкомолекулярных кислот является то, что сравнение цветов исследуемой водной вытяжки испытуемого масла с контрольной пробой производится на глаз. Это обстоятельство очень часто приводит к противоречивым результатам при испытании. Часто бывают случаи, когда реакция водной вытяжки одного и того же масла в двух разных лабораториях оценивается по-разному и зависит от навыка и индивидуальных особенностей экспериментатора. Метод количественного определения водорастворимых (низкомолекулярных) кислот, описанный в [Л. 1], для эксплуатационных трансформаторных масел рекомендуется в тех случаях, когда возникают сомнения, отнести масло к кислому или нейтральному.

Количественное определение содержания водорастворимых (низкомолекулярных) кислот в эксплуатационных трансформаторных маслах. В коническую широкогорлую колбу на 250 мл берут навеску испытуемого масла 75 г с точностью до 0,01 г. Затем при помощи пипетки или мерного цилиндра прибавляют 75 мл дистиллированной воды.

Содержимое колбы нагревают до 70—80° С и взбалтывают при этой температуре в течение 5 мин. После отстаивания (до полного отделения водной вытяжки от масла) берут пипеткой 25 мл водной вытяжки и заливают в коническую широкогорлую колбу на 100 мл. В колбу прибавляют 3 капли раствора индикатора фенолфталеина и титруют из микробюретки 0,025 н. водным раствором едкого кали до бледно-розового окрашивания, не исчезающего в течение 2—3 сек. Параллельно с водной вытяжкой испытуемого масла производится титрование 25 мл дистиллированной воды, нагретой до 70—80° С тем же 0,025 н. водным раствором едкого кали в присутствии индикатора фенолфталеина. Число миллиграммов 0,025 н. раствора едкого кали, ушедшего для нейтрализации дистиллированной воды, вычитается из количества 0,025 н. раствора едкого кали, ушедшего для нейтрализации водорастворимых кислот в испытуемом масле.

Содержание в эксплуатационных трансформаторных маслах водорастворимых (низкомолекулярных) кислот, выраженное кислотным числом в миллиграммах КОН на 1 г масла вычисляется по формуле

$$K = \frac{(V - V_1)T}{g},$$

где V — объем 0,025 н. раствора едкого кали, израсходованного на титрование водной вытяжки масла, мл;

V_1 — объем 0,025 н. раствора едкого кали, пошедшего на нейтрализацию дистиллированной воды, *мл*:
 T — титр 0,025 н. раствора едкого кали, выраженный в миллиграммах КОН:
 g — навеска испытуемого масла в граммах по отношению к 25 *мл* воды.

Допустимая норма содержания водорастворимых (низкомолекулярных) кислот в эксплуатационных трансформаторных маслах следующая: эксплуатационные масла, водная вытяжка которых содержит водорастворимые (низкомолекулярные) кислоты в количестве, не превышающем 0,014 *мг* КОН на 1 *г* масла, могут быть оставлены в эксплуатации.

Масла, содержащие водорастворимые кислоты в количестве 0,015 *мг* КОН и более, подлежат регенерации или замене.

Восстановление масел рекомендуется производить при достижении кислотного числа водорастворимых кислот 0,01 *мг* КОН.

Объемный вес масла

Объемным весом масла называется отношение его веса при температуре +20° С к весу воды того же объема при температуре +4° С.

В некоторых специальных случаях требуется определять объемный вес трансформаторного масла. Объемный вес масла не нормируется и имеет значение при 20° С 0,886.

При нагревании объемный вес масла уменьшается, а при охлаждении увеличивается. Температурный коэффициент изменения объемного веса масла составляет 0,0007 на 1°. Для определения объемного веса масла при температуре, отличной от 20° С, необходимо при повышении температуры масла отнять, а при понижении температуры прибавить 0,0007 на каждый градус изменения температуры.

Определение объемного веса масла производится по методике, изложенной в ГОСТ 3900-47. В этом же ГОСТ приводится таблица поправок, которые следует вводить на температуру отличную от 20° С при измерении объемного веса.

Наиболее простым способом определения объемного веса масла является способ определения при помощи ареометра (нефтеденсиметра).

Для этой цели ареометр опускают в стеклянный цилиндр с испытуемым маслом. Отсчет производится по верхнему краю мениска.

Коэффициент теплового расширения масла на 1° составляет 0,000662 и служит для расчета объема масла при различной температуре.

Вязкость

Когда жидкость течет, то ее молекулы оказывают известное сопротивление перемещению их относительно друг друга. Вязкость является одним из важных свойств изоляционного масла.

Для масла, заливаемого в трансформаторы, важно, чтобы его вязкость была как можно меньше, что способствует лучшему отводу тепла от обмоток. В масляных выключателях также необходимо, чтобы масло обладало большой подвижностью и малой вязкостью для того, чтобы оказывать меньшее сопротивление движению механизмов выключателя, а также лучше охлаждать и гасить дугу. В современных выключателях применяются масла с малой вязкостью и малой зависимостью повышения вязкости при понижении температуры.

Определение условной вязкости производится при помощи вискозиметра Энглера по ГОСТ 6558-52. Водное число вискозиметра, т. е. истечение 200 см^3 дистиллированной воды при 20°C , должно быть не менее 50 и не более 52.

Определение кинематической вязкости производится при помощи капиллярных вискозиметров (Пинкевича), имеющих вид у-образных трубок особой формы. Определение производится по ГОСТ 33-53.

Зольность

Зольность определяется только в свежих маслах при их приемке и служит показателем главным образом правильной промывки масла. Если масло было плохо промыто, то оставшиеся соли и мыла могут при сжигании масла дать количество золы, превышающее норму.

В маслах, находящихся в эксплуатации, зольность может расти за счет коррозии металлов (меди и железа), соприкасающихся с маслом, растворения лаков и т. д.

Определение зольности производят в соответствии с ГОСТ 1461-52.

Содержание серы

Сера в масло переходит обычно из сырой нефти и может быть в виде прочных соединений либо в виде соединений, легко ее отдающих, наконец, в свободном состоянии. В последних двух видах присутствие серы недопустимо, так как она способствует коррозии металлов и ведет к сильному увеличению сопротивления контактов в переключателях ответвлений трансформаторов и особенно в выключателях. Качественное определение содержания в масле серы может быть произведено фиксированием изменения цвета пластинки из чистой электролитической меди под влиянием действующих на нее активных сернистых соединений или свободной серы, присутствующих в испытуемом масле, нагретом при температуре 85°C в течение 12 ч.

Определение содержания серы в восточных маслах производится по ГОСТ 8657-57.

Масла из восточных сернистых нефтей не содержат активной серы. Содержащаяся в них сера входит в структуру органических соединений и находится в скрытом (экранированном) состоянии.

В Советском Союзе в течение ряда лет успешно проводятся испытания трансформаторных масел из восточных нефтей с содержанием серы до 1%. В 1959—1960 гг. нефтезаводами выпущена большая опытно-промышленная партия трансформаторного масла (ВТУ НП № 30-59) из сернистых нефтей фенольной очистки, содержащего серу до 0,6%, с импортной антиокислительной присадкой Топанол (ДБПК, янол).

Ведется подготовка к выпуску гидроочищенного масла с содержанием серы до 0,2%.

Первая опытная и опытно-промышленная партии трансформаторного масла из сернистых нефтей фенольной очистки обладали (без присадки) несколько более сильным сравнительно с бакинским маслом ростом кислотного числа. В связи с проводимыми исследовательскими работами в настоящее время выявлена возможность значительного повышения стабильности трансформаторного масла из сернистых нефтей фенольной очистки за счет усовершенствования процесса его изготовления. В связи с этим ведутся подготовительные работы к выпуску новой опытной партии улучшенного трансформаторного масла из сернистых нефтей фенольной очистки.

Широко проводимая исследовательская работа, связанная с изготовлением сернистых трансформаторных масел по различным методам, и тщательное изучение свойств масел в лабораторных и эксплуатационных условиях позволяют наиболее надежно выбрать лучший способ изготовления трансформаторных масел из сернистых нефтей.

Натровая проба

Натровой пробой с подкислением называется метод определения степени отмывки масел от посторонних примесей.

В свежем и регенерированном масле вследствие плохой промывки могут оставаться мыла и некоторые другие загрязнения, которые и вызывают ухудшение натровой пробы. Натровая проба свежего масла в некоторой мере характеризует также и его стабильность. В маслах, находящихся в эксплуатации, это определение не производится.

Определения натровой пробы производятся по ГОСТ 6473-53. Метод основан на воздействии раствора едкого натра на масло при подогреве с последующим отделением щелочной вытяжки и подкислением ее соляной кислотой.

Температура застывания

Температурой застывания называется максимальная температура, при которой масло загустевает настолько, что при наклонении пробирки с охлажденным маслом под углом 45° его уровень остается неизменным в течение 1 мин.

Температура застывания масла имеет большое значение для масляных выключателей, работающих на открытом воздухе.

Загустевшее масло при низкой температуре представляет большое сопротивление движению траверсы выключателя и нарушает процесс гашения дуги.

Температура застывания нормируется для свежего масла и масла, находящегося в эксплуатации в масляных выключателях.

Для определения температуры застывания пробу масла тщательно подсушивают и наливают в пробирку с внутренним диаметром 20 ± 1 мм и кольцевой меткой на 30 мм от ее дна. Испытание температуры застывания энергетических масел производят в соответствии с ГОСТ 1533-42.

Определение производится в специальном приборе (рис. 3), состоящем из сосуда, имеющего тепловую изоля-

цию из асбеста и позволяющего наклонить корпус прибора на угол 45° . В сосуд вставляется стеклянная пробирка с маслом и термометром. В сосуд на $2/3$ высоты наливается спирт (денатурированный или сырец) или бензин «Галоша». Допускается применение и других охлаждающих смесей.

Охлаждение жидкости производится с помощью твердой углекислоты.

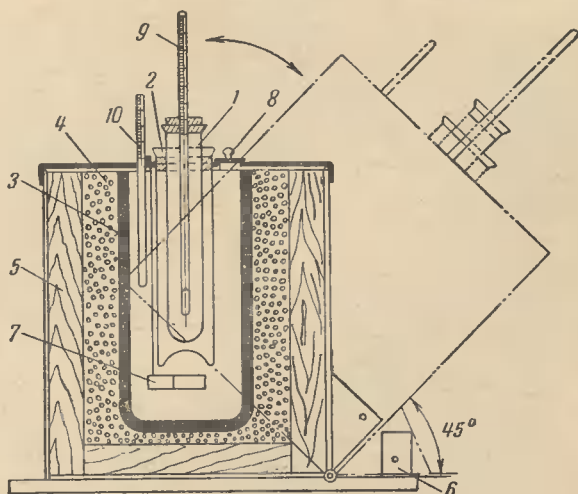


Рис. 3. Прибор для определения температуры застывания масел.

1 — пробирка с испытуемым маслом; 2 — пробирка-муфта; 3 — сосуд с охлаждающей смесью; 4 — изоляция; 5 — деревянный ящик; 6 — упор наклона на угол 45° ; 7 — мешалка; 8 — крышка; 9 — термометр, измеряющий температуру масла; 10 — термометр, измеряющий температуру охлаждающей смеси.

По мере понижения температуры размер порций углекислоты постепенно увеличивают.

Когда масло в пробирке достигнет температуры, назначенной для определения застывания, прибор наклоняют под углом 45° и, не вынимая из охлаждающей смеси, держат в таком положении в течение 1 мин.

После этого пробирку с маслом осторожно вынимают из прибора, вытирают и наблюдают, сместился или нет мениск испытуемого масла. Если мениск не сместился, то масло застыло и испытание не выдержало. При смещенном мениске масло выдержало испытание.

Стабильность масла

Стабильностью трансформаторных масел называется способность их противостоять окислительному воздействию кислорода воздуха при повышенной температуре. Стабильность по методу ГОСТ 981-55 характеризуется процентом осадка, кислотным числом и содержанием водорастворимых кислот в масле, подвергнутом искусственному старению.

Для того чтобы определить, насколько масло устойчиво против окисления, производят искусственное окисление масла в специальных аппаратах по ГОСТ 981-55.

Диэлектрические потери

Диэлектрическим потерям изоляционных масел до последнего времени не придавалось большого значения. В настоящее время в действующий ГОСТ на трансформаторное масло введено требование и установлены нормы тангенса угла ($\operatorname{tg} \delta$) диэлектрических потерь на свежее, поступающее с заводов масло.

Установлены также нормы диэлектрических потерь для масел, находящихся в эксплуатации.

Диэлектрические потери для свежих масел характеризуют качество и степень очистки масел на заводе, а в эксплуатации — степень загрязнения и старения масла.

Повышенные диэлектрические потери и сниженное сопротивление изоляции трансформаторного масла могут привести к ухудшению всех изоляционных характеристик залитого таким маслом трансформатора; на основании таких данных может быть принято ошибочное решение о необходимости сушки трансформатора. При ухудшении изоляционных характеристик трансформаторов необходимо производить измерение диэлектрических потерь залитого в них масла и если окажется, что масло имеет повышенные против норм диэлектрические потери, то необходимо принимать меры к восстановлению масла.

Определение тангенса угла диэлектрических потерь ($\operatorname{tg} \delta$) трансформаторного масла производится при помощи моста переменного тока типа «МД-16». Тангенс угла диэлектрических потерь нормируется для двух температур 20 и 70°С, поэтому и измерения должны производиться при этих же температурах.

Для измерения диэлектрических потерь применяются сосуды с цилиндрическими или плоскими электродами.

Наибольшее распространение вследствие простоты устройства и обслуживания получил сосуд с плоскими

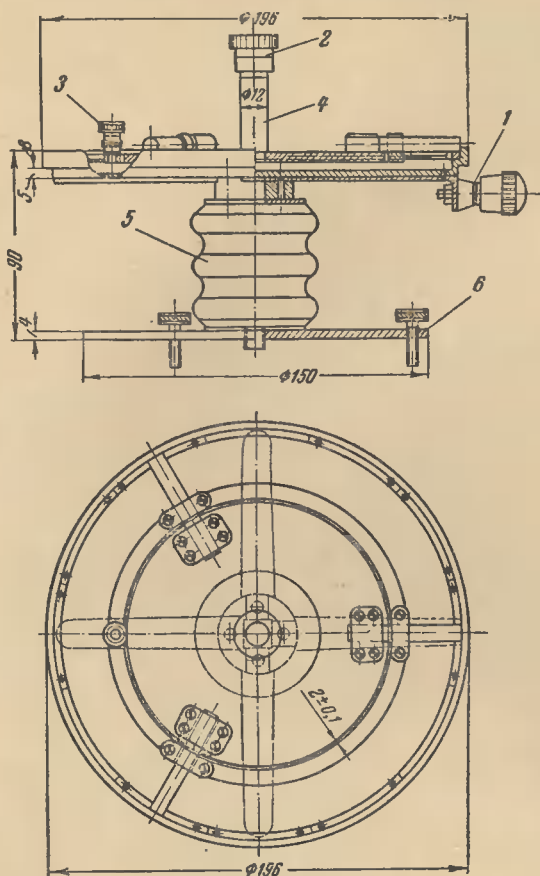


Рис. 4. Сосуд с плоскими электродами для измерения диэлектрических потерь масла.

1—высоковольтный электрод плоский; 2—измерительный электрод; 3—охранное кольцо; 4—втулка для термометра; 5—высоковольтный изолятор; 6—основание прибора с винтами для установки по уровню.

электродами, показанный на рис. 4. Измерение диэлектрических потерь производится по методике, изложенной в ГОСТ 6581-53 с дополнением п. 4 из ГОСТ 982-56.

7. УХОД ЗА МАСЛОМ В ЭКСПЛУАТАЦИИ

Во всех маслonaполненных аппаратах и трансформаторах, находящихся в эксплуатации (за исключением высоковольтных конденсаторов), масло непосредственно сообщается с атмосферой. В этом случае трансформаторное масло находится в постоянном контакте с кислородом и влагой воздуха.

Кислород и влага являются главной причиной порчи масла в эксплуатации.

В результате окисления в масле накапливаются механические примеси, шлам, вода, органические кислоты, мыла и другие продукты разложения и окисления как самого масла, так и изоляции, лаков металлических частей проводников и баков аппаратов и трансформаторов.

Эксплуатация изоляционных масел связана: 1) с периодическим надзором за аппаратами и трансформаторами, залитыми маслом, 2) отбором и испытанием проб масла, 3) мероприятиями, связанными с предохранением масел от окисления и увлажнения (применением и эксплуатацией воздухоосушителей, термосифонных фильтров, антиокислительных присадок, адсорберов, азотной защиты и пр.) и 4) очисткой, сушкой и в конечном счете сменой и регенерацией отработавших, сильно окислившихся и загрязненных масел.

Наиболее дорогой является эксплуатация изоляционных масел, когда не применяются никакие меры по предохранению масла от окисления и увлажнения, значительно снижаются затраты, когда применяются воздухоосушительные и термосифонные фильтры, антиокислительные присадки и адсорберы для восстановления масла без отключения аппаратов и трансформаторов. Значительное снижение затрат на эксплуатацию масел обещает применение азотной защиты, устраняющей контакт масла с кислородом воздуха и увлажнение масла и изоляции трансформаторов.

Уход за маслом трансформаторов

При периодических внешних осмотрах трансформаторов необходимо проверить уровень масла в расширителе или трансформаторе, убедиться в отсутствии течи в сочленениях бака и радиаторов, во фланцах и арматуре.

При проверке уровня масла в расширителе необходимо проверять правильность показания маслоуказательного стекла. Для этого следует периодически спускать немного

масла через пробку или краник в нижнем патрубке масломерного стекла. При засорении каналов масломерного стекла персонал может не заметить, что масло ушло из бака трансформатора, что и было причиной ряда повреждений трансформаторов. Для поддержания масла в трансформаторах в хорошем состоянии и удлинения срока его службы в настоящее время широко применяются термосифонные фильтры, в которые загружаются силикагель, окись алюминия, бокситы, опоки и другие природные сорбенты. Термосифонные фильтры позволяют производить автоматическое восстановление масла и поддерживать его в хорошем состоянии, обеспечивая его непрерывную работу в трансформаторах. Для предохранения от увлажнения масла и изоляции трансформаторов применяются воздухоосушительные фильтры. В качестве осушителя в фильтрах применяется чистый силикагель или силикагель, пропитанный хлористым кальцием и окрашиваемый в качестве индикатора увлажненности хлористым кобальтом. Для предохранения силикагеля от увлажнения при непрерывном контакте с влажным воздухом воздухоосушительные фильтры снабжаются масляным затвором.

Уход за маслом выключателей

К качеству масла из масляных выключателей предъявляются такие же требования, как и к маслу трансформаторов, при этом особое внимание должно быть обращено на температуру застывания.

Наблюдение за маслом выключателей сводится главным образом к контролю за пробивным напряжением масла и содержанием угля.

При эксплуатации трансформаторного масла из сернистых нефтей следует производить в соответствии с эксплуатационным циркуляром Союзглавэнерго № Э-6/59 не реже двух раз в год измерение сопротивления постоянному току контактной системы выключателей. При выходящем за пределы норм возрастании этого сопротивления необходимо выводить выключатели из эксплуатации для осмотра контактов и последующего их ремонта.

Доливки и смешения масел

В процессе эксплуатации вследствие отбора проб масла на испытания, утечки масла и его испарение приходится производить доливки масла в аппараты и трансформаторы.

При получении новых партий масла из-за недостатка емкостей приходится производить смешение различных партий масла.

Смешение изоляционных масел разного происхождения и разного качества может привести к быстрому старению и образованию шлама.

Результаты опытов показали, что в некоторых случаях смешение масел может повысить стабильность смеси масел.

В частности, масло с высокой степенью очистки, не обладающее достаточной стойкостью против окисления, может быть улучшено добавлением даже небольшого количества обычного изоляционного масла.

Таким же способом может быть повышена стабильность регенерированных масел. Это объясняется тем, что обычные, не переочищенные масла содержат смолы и ароматические углеводороды, которые препятствуют быстрому окислению масла.

При очень высокой степени очистки или регенерации масла удаляются эти естественные антиокислители и масло приобретает способность к быстрому окислению.

Такое масло может быть улучшено путем добавления масел с нормальным содержанием смол или антиокислителей.

Смешение старого масла со свежим может привести к выпадению шлама, так как свежее масло обладает меньшей способностью растворять шлам, чем масло, бывшее в эксплуатации. Поэтому допустимость смешения при доливках разных партий свежего и эксплуатационного масел должна подтверждаться лабораторными испытаниями.

В условиях эксплуатации трансформаторное масло из сернистых нефтей может смешиваться между собой и с другими маслами, но при этом допустимость смешения должна подтверждаться лабораторным анализом — определением стабильности по ГОСТ 981-55. При этом стабильность смеси должна укладываться в нормы ГОСТ 982-56 на трансформаторные масла без присадки.

8. ОЧИСТКА И СУШКА МАСЛА

Масло, не удовлетворяющее нормам на электрическую прочность в связи с попаданием в него влаги, загрязнением различными механическими примесями и также содержащее большое количество угля в масле и осадка, но не изменившее своих химических свойств, в большинстве слу-

чаев может быть исправлено методами отстоя, центрифугирования, фильтрации через пористую среду, сушки распылением под вакуумом, сушки сухим воздухом или инертным газом.

Отстой

Когда масло длительное время находится в покое, то вода и механические примеси, имеющие больший удельный вес, чем масло, оседают на дно. Хотя отстой и не удаляет полностью все загрязнения и воду, он широко применяется и является первой и обязательной стадией всех методов регенерации. Достоинством отстоя является его крайняя простота, дешевизна и безвредность для масла, к недостаткам же относится большая длительность операции.

При применении данного метода следует учитывать, что скорость отстоя зависит от вязкости масла и, следовательно, от температуры, а также от высоты слоя масла: чем выше столб масла, тем больше требуется времени для того, чтобы частицы загрязнений могли пройти путь до дна отстойника. Для трансформаторных масел оптимальная температура отстоя лежит в пределах 25—35° С. При более низкой температуре высокая вязкость замедляет отстой, а при более высокой — мешают конвекционные токи и взмучивание масла пузырьками испаряющейся воды.

Центрифугирование

Очистка масла от воды и механических загрязнений в центрифугах основана на действии центробежной силы, развиваемой в барабанах с большим числом оборотов.

Под действием центробежной силы жидкость разделяется на несколько слоев; у стенок будет слой наиболее тяжелых загрязнений, далее расположится слой более легкой воды, затем слой масла, а в центре наиболее легкая жидкость или воздух.

По принципу действия маслоочистительные центрифуги разделяются на два типа: центрифуги с барабаном, не имеющим тарелок, и центрифуги с барабаном, оснащенным тарелками. В отечественной практике наибольшее применение имеют центрифуги с барабаном, оснащенным тарелками. Центрифуги делятся на вакуумные, в которых обеспечивается удаление из масла, помимо механических примесей, влаги и воздуха, и на сепараторы открытого типа.

В зависимости от характера загрязнений очистка масла центрифугами может производиться способом осветления (кларификация) и способом очистки (пурификация).

Очистку масла способом осветления (кларификация) применяют для отделения твердых механических примесей, шлама, угля, а также для отделения воды, содержащейся в масле в столь незначительном количестве, что непосредственного отвода ее не требуется. В этом случае отделяемые от масла примеси остаются в грязевике барабана и по мере накопления загрязнений производится очистка барабана.

Удаление из масла загрязнений способом очистки (пурификация) применяют в тех случаях, когда загрязненное масло можно рассматривать как смесь двух или нескольких веществ с различным удельным весом. В этом случае смесь разделяется и наиболее тяжелые ее частицы отводятся из центрифуги непрерывно.

Фильтрация

Фильтрацией называется продавливание масла через пористую среду с большим количеством узких каналов (капилляров), в которых задерживаются все загрязнения. Фильтрующей средой служит фильтровальный картон. Свойство фильтровальной бумаги или картона не только задерживать загрязнения, но и впитывать воду, объясняется тем, что растительные волокна, из которых состоит бумага, представляют тончайшие трубочки. Разные жидкости с разной силой проникают в эти трубочки. Одни жидкости заполняют трубочки целиком, другие заполняют только концы трубок и не могут проникнуть дальше (так называемое явление капиллярного давления). Вода вдвое дальше проникает в каналы бумаги и вытесняет оттуда масло.

До тех пор, пока имеются волокна, не заполненные водой, фильтровальный картон поглощает воду из масла. Когда все волокна напитаются водой, картон надо сменить. Наибольшей гигроскопичностью обладает мягкий, рыхлый картон, который, однако, плохо задерживает уголь и мелкие частицы шлама, а также выделяет много волокон в масло.

Чередую листы мягкого картона с листами плотного, можно получить хорошие фильтры.

Если нагреть масло и этим снизить вязкость, то скорость фильтрации возрастет, однако фильтрация про-

изводить при температуре более $45-50^{\circ}\text{C}$ не рекомендуется, так как при более высокой температуре быстро падает гигроскопичность картона.

Рамочные фильтр-прессы состоят из рамок и плит с зажатými между ними листами фильтровального картона, станины, штурвала с нажимным винтом, масляного насоса, подающего фильтруемое масло, снабженного грубым сетчатым фильтром, маслосборной ванны, спускного крана для слива масла из ванны в маслопровод, трехходового крана, контрольного крана для наблюдения за наполнением рабочих камер маслом и выпуска воздуха из рабочей части фильтр-пресса, манометра, электродвигателя с пусковой коробкой и рубильником.

Сушка масла распылением в вакууме

Наиболее совершенным и экономичным способом сушки масла является распыление масла в вакууме при невысокой температуре [Л. 3].

Сущность этого метода заключается в том, что раствор масла с водой распыляется форсункой в камеру, в которой создается вакуум и отсасываются пары воды.

При большой поверхности диспергированных частиц они быстро отдают свою влагу. Сухое масло в виде капель выпадает на дно камеры. Нагрев масла до $50-60^{\circ}\text{C}$ повышает эффективность и скорость сушки, так как повышается возможность испарения влаги. Испарение масла при этом незначительно по сравнению с общим объемом осушаемого масла. В центральной высоковольтной лаборатории Мосэнерго была применена механическая форсунка Кертинга, несколько измененная с целью получения более мелкого распыления (рис. 5). Вкладыш форсунки выполнен в виде двухходового винта; при работе создает вращательное движение жидкости и при определенной скорости ее истечения за выходным отверстием образуется пленка раствора, которая под действием волнообразных колебаний распадается на отдельные капли.

На одной из подстанций электросетей Мосэнерго была изготовлена и установлена экспериментальная установка (рис. 6), которая состоит из сушильного бака 1 с толщиной стенок 5 мм, имеющего индукционный обогреватель 2 мощностью 5 кВт, трубопроводов и насосов. Нижняя форсунка 4 установлена неподвижно, верхняя же устанавливалась на разных расстояниях от поверхности масла и нижней форсунки.

Производительность установки от 500 до 1 000 л осушаемого масла в 1 ч при температуре от 20 до 60°С и при вакууме 500—600 мм ртутного столба.

Сушка масла сухим воздухом или инертным газом

Принцип сушки масла сухим воздухом заключается в том, что осушаемая масса масла контактирует с сухим воздухом, благодаря чему влага, содержащаяся в масле,

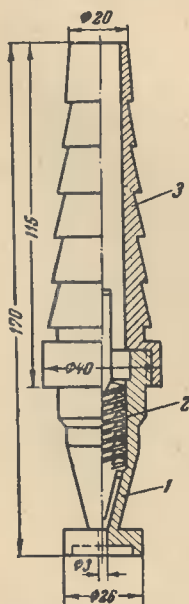


Рис. 5. Механическая форсунка для распыления масла при сушке вакуумом.

1 — корпус; 2 — вкладыш; 3 — наконечник.

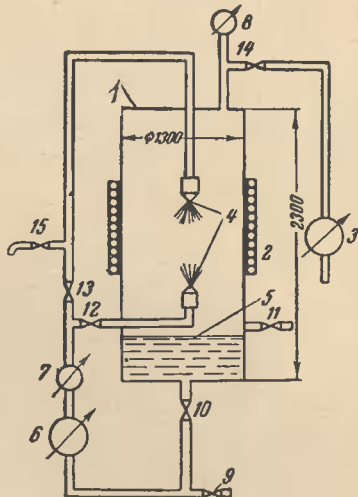


Рис. 6. Принципиальная схема установки для сушки масла вакуумом.

1 — сушильный бак; 2 — индукционный подогреватель; 3 — насос; 4 — форсунки; 5 — уровень масла; 6 — масляный насос; 7 — манометр; 8 — вакуумметр; 9 — край для заливки и слива масла; 10, 12, 13 и 14 — вентили; 15 — кран для отбора проб масла.

переходит в воздух и вместе с ним удаляется из осушаемой среды [Л. 4].

По этому методу воздух нагнетается компрессором в нижнюю часть воздухоосушителя, где он сначала проходит через слой пористого гранулированного материала (пемза, битый кирпич) и освобождается от капель воды и компрессорного масла, затем проходит через слой твердого влагопоглотителя и, полностью освободившись от

влаги, направляется в воздухораспределитель, опущенный под слой осушиваемого масла.

При сушке масла сухим воздухом по сравнению с центрифугированием получается большая экономия времени и электроэнергии.

По производительности установки 1 т в час должен быть использован компрессор производительностью 15—20 м³/ч воздуха.

Поскольку существует возможность окисления масла кислородом воздуха была проверена возможность и целесообразность сушки масла сухим азотом по замкнутому циклу при дополнительной постоянной подпитке азотом. Такой способ имеет некоторое преимущество перед сушкой масла сухим воздухом.

Сушка масла азотом по замкнутому циклу проводится следующим образом.

Азот из баллона через редуктор поступает через газовый счетчик во влагоосушитель. Осушенный газ из влагоосушителя поступает в промежуточный бачок, а из промежуточного бачка — в бак с маслом. Азот после прохода через слой масла вакуумным насосом передается обратно на газовый счетчик и влагоосушитель. Кислотное число и стабильность масла после сушки воздухом почти не изменяется, однако после продувки этого же масла азотом по замкнутому циклу кислотное число остается неизменным, а стабильность его немного улучшается.

9. ВОССТАНОВЛЕНИЕ МАСЕЛ

Применяемые в данное время способы восстановления масел можно подразделить на два основных: а) восстановление сильно окисленных масел, нуждающихся в глубокой очистке и б) восстановление масел, не подвергшихся сильному окислению и не нуждающихся в глубокой очистке. Методы, обеспечивающие наиболее глубокое восстановление отработавших масел, заключаются в комбинированной обработке их щелочью, серной кислотой и отбеливающими землями.

Наибольший практический интерес представляет метод «кислота — земля», получивший относительно широкое применение для регенерации сильно окислившихся масел.

Для восстановления трансформаторных масел, не подвергшихся сильному окислению и не нуждающихся в глу-

бокой очистке, а также при небольшом объеме масла, целесообразно применять менее сложный способ восстановления с применением одних только отбеливающих земель или искусственных адсорбентов — (силикагель или окись алюминия). Обработка в этом случае может вестись контактным или перколяционным способами.

Контактный метод восстановления заключается в смешении масла с тонкоразмолотыми сорбентами (зикеевской землей и т. д.).

При перколяционном способе восстановления масло фильтруется через слой зернистого сорбента, загруженного в так называемые адсорберы или термосифонные фильтры. При перколяционном методе восстановления масел в отличие от контактного метода возможны восстановление и многократное использование сорбентов. Это позволяет применять для перколяции более эффективные, но и более дорогие искусственные сорбенты.

Перколяционный метод позволяет восстанавливать масло без слива его из оборудования и без снятия нагрузки или напряжения.

В связи с универсальностью применения, легкостью осуществления и высоким эффектом восстановления масла перколяционный метод в настоящее время получил наиболее широкое распространение.

Восстановление масел по методу «кислота — земля»

Процесс восстановления масла по методу «кислота — земля» состоит из следующих циклов:

а) предварительная механическая очистка для удаления из масла влаги и других веществ, находящихся во взвешенном состоянии;

б) обработка серной кислотой для удаления продуктов старения, находящихся в масле в растворенном или дисперсном состоянии;

в) удаление образовавшегося кислого гудрона для частичной нейтрализации масла и очистки его от взвешенной гудронной пыли;

г) обработка земель для отбелки и полного удаления из масла следов гудронной пыли, сульфокислот и продуктов старения. Процесс восстановления масел по методу «кислота — земля» осуществляется следующим образом.

Отработавшее масло, предварительно отстоявшееся от механических примесей и воды и обработанное на центри-

фуге, закачивают насосом в бак с конусным дном, снабженным мешалкой. В дозатор подают концентрированную техническую серную кислоту с удельным весом 1,84 в количестве от 0,5 до 2% (в зависимости от степени окисления масла), которую постепенно в возможно более распыленном виде подают в бак, и включают мешалку. Кислоту подают в масло при непрерывном перемешивании через распыливающее устройство в виде трубы с большим количеством мелких отверстий. Перемешивание масла с кислотой продолжают в течение 30—40 мин. По окончании обработки кислотой масло отстаивается от кислого гудрона в течение 1—2 ч, гудрон спускают, затем для осаждения остатка кислого гудрона, находящегося в масле в распыленном состоянии, добавляют 2—3% отбеливающей земли и снова масло перемешивают в течение 30 мин. После отстоя, осадок, состоящий из кислого гудрона и отбеливающей земли, спускают, а масло через фильтр-пресс перекачивают в бак для окончательной отбелики масла. В нагретое до 80°С масло добавляют от 6 до 10% отбеливающей земли, а затем масло перемешивают в течение 50—60 мин. Не прекращая перемешивания, масло перекачивают в отстойник и после полного отстоя его центрифугируют или фильтруют до получения электрической прочности не менее 45 кв.

Сорбенты для восстановления масел

Восстановление масел сорбентами (силикагелем, окисью алюминия, отбеливающей землей и др.) основано на их способности адсорбировать (поглощать на своей поверхности содержащиеся в отработавшем масле продукты его старения). Активной поверхностью сорбентов служит в основном внутренняя поверхность огромного количества пронизывающих их капилляров. Вследствие этого сорбенты обладают весьма большой удельной поверхностью, площадь которой составляет несколько сотен квадратных метров на 1 г вещества.

Помимо общей поверхности, эффективность сорбции сильно зависит от размера пор сорбентов и от величины сорбируемых молекул. Крупнопористые и мелкопористые сорбенты при прочих равных условиях одинаково сорбируют вещества, имеющие молекулы малых размеров и по-разному — крупномолекулярные вещества. Если размеры молекул сорбируемых веществ превышают размеры пор сорбента, то это снижает эффективность процессов сорб-

ции. Для восстановления трансформаторных масел, продукты старения которых являются относительно высокомолекулярными, следует применять только крупнопористые сорбенты. Для сушки же и очистки газов применяются мелкопористые сорбенты.

Эффект сорбции зависит не только от общей поверхности и размеров пор сорбента, но и от химической природы сорбируемых веществ. Так, например, окись алюминия, будучи сорбентом основного характера, хорошо поглощает из трансформаторных масел органические кислоты и в особенности низкомолекулярные кислоты и хуже поглощает смолистые вещества. Силикагель же сравнительно лучше извлекает из масел смолистые вещества и несколько хуже органические кислоты.

Ниже рассматриваются сорбенты, применяемые для регенерации энергетических масел.

Силикагель представляет собой твердые стекловидные пористые зерна. В зависимости от величины пор и формы зерен различают силикагель мелкопористый и крупнопористый.

Промышленностью выпускается силикагель следующих марок: (ГОСТ 3956-54).

- а) КСК — крупный силикагель крупнопористый.
- б) ШСК — шихта, силикагель крупнопористый.
- в) МСК — мелкий силикагель крупнопористый.
- г) АСК — активированный силикагель крупнопористый.
- д) КСМ — крупный силикагель мелкопористый.
- е) ШСМ — шихта силикагель мелкопористый.
- ж) МСМ — мелкий силикагель мелкопористый.
- з) АСМ — активированный силикагель мелкопористый.

Для восстановления масел адсорберами или термосифонными фильтрами следует применять только крупнопористый силикагель марки КСК, а для воздухоосушительных фильтров мелкопористый марки КСМ.

Окись алюминия выпускается промышленностью следующих разновидностей:

- а) Активная окись алюминия А-1 и А-2.
- б) Окись алюминия «носитель».

Активная окись алюминия (ТУ МХП-2170-49) представляет собой гаммамодификацию окиси алюминия с высокоразвитой поверхностью. Активная окись алюминия изготавливается в виде формованных меловидных стержней или без формовки в виде зерен с значительной механической прочностью.

Окись алюминия «носитель» (ТУ МХП-2824-51) представляет собой меловидный формованный продукт, получаемый прессованием технической гидроокиси алюминия с последующим прокаливанием. Этот сорбент имеет малую механическую прочность и поэтому сильно дробится при применении и восстановлении. Для регенерации масел могут быть применены активная окись алюминия и окись алюминия—«носитель».

Крупка зикеевской опоки. Зикеевская опока представляет собой кремнистые породы, образсвавшиеся в результате скопления на дне водных бассейнов микроскопических остатков кремнистых панцырей или скелетов растительного или животного происхождения. Эти остатки в течение длительного времени уплотнялись и цементировались.

Внешне опоки характеризуются, как довольно плотные, пористые породы от желтоватого до серого цвета.

Химический состав опоки зикеевского месторождения колеблется в следующих пределах:

Окись кремния (SiO_2) $76 \div 83\%$

Окись алюминия (Al_2O_3) $6 \div 9\%$

Окись железа (Fe_2O_3) $2 \div 5\%$

Окись кальция, магния и другие $2 \div 3\%$.

Объемный вес зерен крупки опоки $0,65 \text{ г/см}^3$.

С завода зикеевская опока отправляется в бумажных мешках весом около 40 кг. Хранить крупку опоки следует в сухих складских помещениях. Стоимость крупки опоки без транспортных расходов составляет около 80 руб. за 1 т. Подготовка опоки перед загрузкой в адсорберы или термосифонные фильтры сводится к высушиванию при температуре $150\text{—}200^\circ\text{C}$ и отсеvu мелких до 3 мм зерен на сите № 4 (16 отверстий на 1 см^2) и отмывки от пыли одной порцией масла с использованием фильтр-пресса.

Активность крупки опоки в отношении устранения низкомолекулярных кислот (кислой реакции водной вытяжки) почти не уступает силикагелю, но зато она может хорошо улучшать тангенс угла диэлектрических потерь масла.

Испытание сорбентов. От каждой поступающей партии адсорбентов отбирается проба для испытания на ее адсорбционную способность для восстановления отработавших трансформаторных масел.

Отбор пробы сорбента производится следующим образом: из двух-трех мешков или барабанов отбираются пробы сорбента. Отбор проб производят методом пересечения

струи совком не менее 3 раз при пересыпании силикагеля из вскрытого мешка или барабана в пустую тару.

Вес отобранной пробы для анализа должен быть не менее 0,5 кг.

Отобранная проба засыпается в банку с притертой пробкой и направляется в лабораторию. На банке должна наклеиваться этикетка с указанием наименования завода-изготовителя, названия и марки сорбента, номера партии и даты отбора пробы.

Испытания сорбентов производят следующим образом.

Отобранная проба сорбента предварительно делится на три части:

а) одна часть испытуемого сорбента сушится в сушильном шкафу при температуре $110-120^{\circ}\text{C}$ в течение 8 ч;

б) вторая часть прокаливается в тигельной или муфельной печи при температуре $400-500^{\circ}\text{C}$ в течение 1 ч;

в) третья часть не обрабатывается.

После охлаждения просушенной и прокаленной проб испытуемого сорбента берут три равные по 10 г навески из прокаленной, просушенной и не обработанной частей сорбента. Кроме того, для сравнения адсорбционной способности берут такую же навеску эталона сорбента — силикагеля или окиси алюминия.

В качестве эталона обычно берется свежий, не бывший в эксплуатации сорбент-силикагель или окись алюминия, которые ранее применялись для восстановления масел и дали положительные результаты.

При взятии навесок сорбента необходимо проследить за тем, чтобы фракционный состав (размер зерен) во всех четырех навесках был одинаковым.

Затем в четыре конические колбы емкостью по 500 мл берут навески по 200 г одного и того же отработавшего масла с кислой реакцией водной вытяжки и с известными в день испытания сорбента показателями цвета, кислотного числа, реакции водной вытяжки и натровой пробы масла. Все четыре колбы с маслом нагревают до температуры 80°C и при постоянном перемешивании в них засыпают отобранные пробы испытуемого и эталонного сорбента, при этом на колбах ставят номера:

№ 1 — для пробы масла с сорбентом-эталонном;

№ 2 — для пробы масла с сорбентом не отработанным;

№ 3 — для пробы масла с сорбентом просушенным;

№ 4 — для пробы масла с сорбентом прокаленным.

Затем колбы с вышеуказанными пробами перемешивают в течение 1 ч при температуре 80° С. После отстоя масла фильтруют и испытывают из каждой колбы на цвет, кислотное число, реакцию водной вытяжки и натровую пробу.

По результатам испытаний делается заключение об адсорбционной способности испытуемого сорбента.

Испытуемый адсорбент считается пригодным для восстановления масел в том случае, если он по своей адсорбционной способности не уступает эталону.

Если необработанный сорбент дает примерно такие же результаты, как и просушенный или прокаленный, то он годен для восстановления масел и предварительной обработки перед его применением не требуется.

Если просушенный или прокаленный образец испытуемого сорбента дал значительно лучшие результаты восстановления масла, чем не обработанный, дается заключение о необходимости предварительной просушки или прокаливания данной партии сорбента.

Если все три пробы испытуемого сорбента значительно уступают по адсорбционной способности сорбенту-эталону, испытуемая партия сорбента не может быть применена для восстановления масел, но может быть использована в качестве осушителя воздуха.

Восстановление и стабилизация трансформаторных масел

В настоящее время широкое и успешное применение получили методы восстановления и стабилизации трансформаторных масел на работающем оборудовании. Для этой цели применяются термосифонные фильтры и адсорберы, заполненные адсорбентами и подсоединяемые к трансформаторам.

Данный метод восстановления масел в отличие от метода «кислота—земля» не требует сооружения специального здания, водопровода, канализации, монтажа большого количества оборудования и пр.

Способ восстановления масла при помощи термосифонных фильтров и адсорберов является высокопроизводительным и обеспечивает минимальные потери масла. Применением термосифонных фильтров можно добиться значительного увеличения срока службы масла в эксплуатации и улучшить стабильность масла.

При условии постоянного сохранения качества эксплуатационного масла уменьшается работа, связанная с уходом за эксплуатационным маслом, его сменой и периодической очисткой.

Применяемый энергопредприятиями метод непрерывной регенерации масел при помощи термосифонных фильтров, как показали практические данные, имеет следующие положительные качества:

а) сохраняет качество масла в пределах норм на свежее и уменьшает разрушение хлопчатобумажных материалов;

б) обеспечивает возможность регенерации масла без его слива из аппаратуры и без снятия нагрузки, что имеет особо важное значение для трансформаторов, работающих без резерва;

в) при непрерывной регенерации масла отпадает необходимость в расходовании электроэнергии на регенерацию масла;

г) устраняются затруднения, связанные со сбором, транспортировкой и хранением отработавшего масла.

Адсорберы. Адсорберы могут применяться для восстановления как отработавшего, слитого из оборудования, так и находящегося в эксплуатации масла без слива его из оборудования и без снятия нагрузки или напряжения с оборудования. Применяемые адсорберы ОРГРЭС изготавливаются следующих размеров (табл. 2).

Таблица 2

Типы адсорберов	Высота, мм	Диаметр, мм	Емкость, л
1	1 040	400	120
2	1 540	400	200
3	1 040	600	280
4	1 540	600	400
5	1 540	700	600

Адсорбер (рис. 7) представляет собой сварной цилиндр, заполняемый гранулированным сорбентом: крышка и дно адсорбера съемные. Адсорбер снизу снабжен коробкой с отверстиями по ее периферии, предназначенной для распределения масла по всему сечению фильтра. Перфорированное дно в нижней части адсорбера предназначено для поддержания слоя сорбента, а также для улучшения рав-

номерности распределения фильтруемого масла по сечению адсорбера. Для очистки прошедшего через адсорбер масла от уносимых им мелких частиц сорбента в верхней части адсорбера имеется фильтрующее устройство, которое соби-

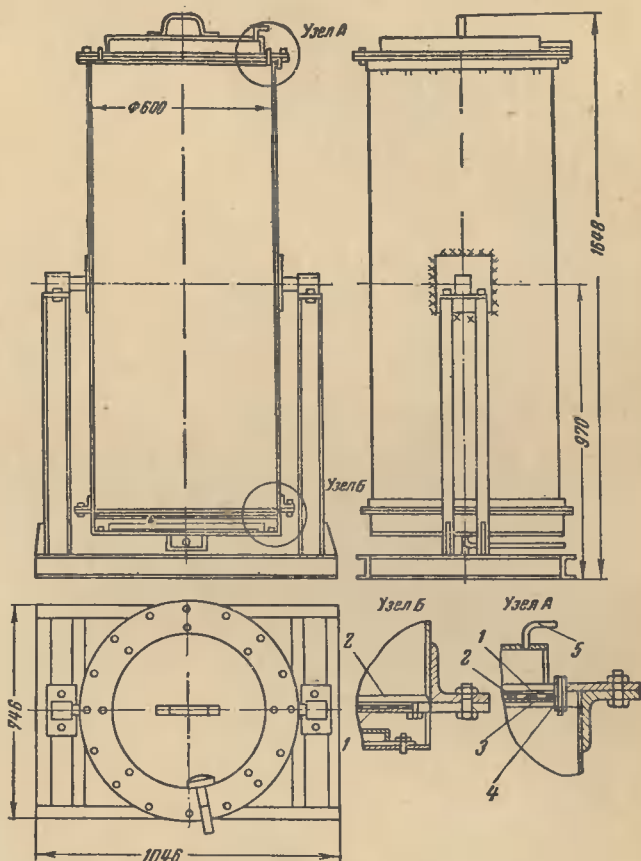


Рис. 7. Адсорбер для восстановления масла.

1 — перфорированный диск; 2 — частая проволочная сетка; 3 — фильтровальный материал; 4 — кольцо; 5 — трубка для выпуска воздуха; 6 — коробка для распределения масла.

рается в следующей последовательности: вначале на нижнюю сторону крышки адсорбера кладется войлочное (или из толстого прессшпана) кольцо, служащее уплотнением между крышкой и перфорированным диском; затем укладывают перфорированный диск, проволочную сетку, филь-

тровальный материал и металлическое кольцо, после этого на болты навинчивают гайки, которые закрепляют все устройство.

Фильтрация масла предусмотрено снизу вверх, так как в этом случае фильтровальный материал меньше забивается мелкими частицами сорбента. Кроме того, при заполнении адсорбера маслом это обеспечивает наиболее полное и быстрое вытеснение воздуха из адсорбера.

Если остающееся в адсорбере масло сливается непосредственно после окончания цикла фильтрации, то спускать масло необходимо в том же направлении в котором происходила фильтрация. Для этой цели адсорбер в станине закреплен на двух подшипниках, обеспечивающих возможность легкого его перевертывания и спуска масла через маслопровод в верхней крышке.

Возможность перевертывания адсорбера облегчает также выгрузку сорбента. Перед включением адсорбера масло должно быть полностью очищено от взвешенного шлама и влаги на центрифуге или фильтр-прессе. Поступающее на адсорбер масло подопревается с целью снижения его вязкости.

Адсорбер устанавливается в строго вертикальном положении.

Первоначальное заполнение адсорбера маслом проводят по возможности медленно. В дальнейшем производительность устанавливают в зависимости от качества получаемого масла. При восстановлении масла без слива его из трансформатора нижний кран последнего соединяется с нижним патрубком, а верхний патрубок адсорбера соединяется с фильтр-прессом. Из фильтр-пресса масло поступает в расширитель трансформатора. В случае необходимости подогрева масла перед адсорбером включают электронагреватель. При восстановлении масла без снятия с трансформатора напряжения (рис. 8) должны соблюдаться особые меры предосторожности в соответствии с инструкцией и правилами по технике безопасности. Восстановление масла производят при циркуляции его не более 1—2 т в смену. Для определения скорости прохождения масла через адсорбер рекомендуется устанавливать масляный или водяной счетчик.

Контроль за ходом процесса регенерации масла и пригодностью сорбента производят путем сравнения результатов анализа масла (не менее 1 раза в сутки) до и после адсорбера.

Во время регенерации дежурный монтер неотлучно ведет наблюдение за циркуляцией масла, работой насосов, фильтр-пресса и температурой масла.

Конец регенерации устанавливается по результатам химического анализа. Во время регенерации масла должны быть предусмотрены противопожарные мероприятия: проводка должна быть из врубового кабеля или с двойной резиновой изоляцией, освещение, предусмотренное техникой безопасности (закрытая арматура), наличие ящика с пес-

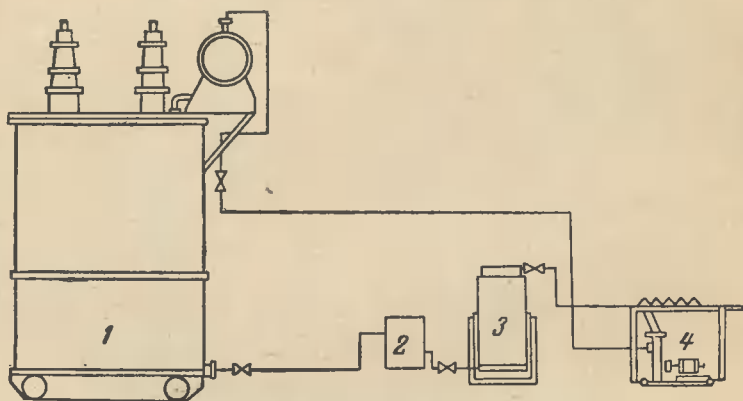


Рис. 8. Схема подключения адсорбера к трансформатору.
1 — трансформатор; 2 — подогреватель; 3 — адсорбер; 4 — фильтр-пресс.

ком, лопаты, совки, огнетушители. Запрещается курение и разведение огня вблизи места работ.

Термосифонные фильтры. Термосифонные фильтры предназначены для восстановления и стабилизации масла в трансформаторах.

Термосифонный фильтр представляет собой цилиндрический аппарат, заполненный сорбентом и присоединенный к трансформатору для его постоянного обслуживания. Циркуляция масла в термосифонных фильтрах происходит по закону термодиффузии вследствие разности температур и, следовательно, разности удельного веса масла в нижней и верхней частях термосифона и в баке трансформатора.

Движение масла в термосифонном фильтре происходит сверху вниз. Перед заполнением термосифонного фильтра маслом необходимо удалить из него воздух. Для этой цели на крышке термосифонного фильтра имеется специальный патрубок (воздушник).

ОРГРЭС разработаны 17 типов размеров термосифонных фильтров для трансформаторов, устанавливаемых как на открытых подстанциях, так и в закрытых помещениях. Типы термосифонных фильтров и их основные размеры приведены на рис. 9 и в табл. 3, а их применимость для различных мощностей трансформаторов — в табл. 4.

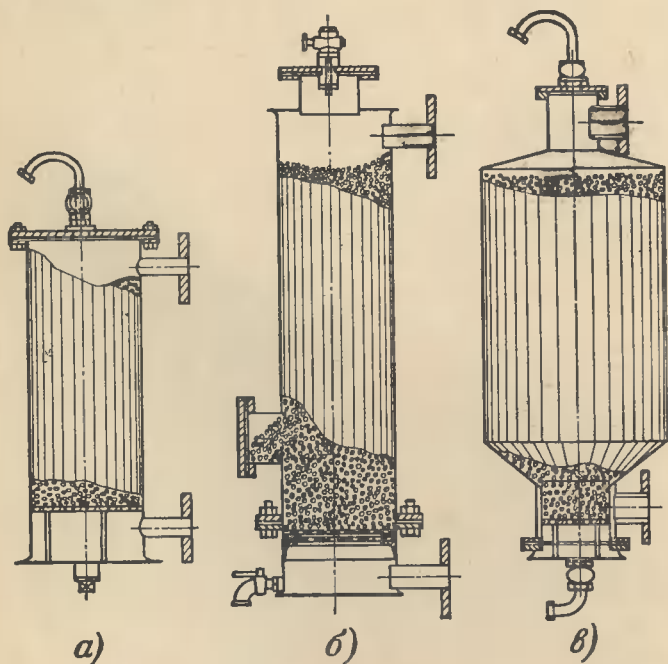


Рис. 9. Типоразмеры термосифонных фильтров для трансформаторов.

Выбор типа термосифонного фильтра и его высота определяются необходимым количеством сорбента и конструкцией трансформаторов.

Количество сорбента (при насыпном весе 0,5) принято равным в среднем 1% от веса или 2% от объема масла, заполняющего трансформатор. Подачу масла производят через нижний патрубок термосифонного фильтра. После того как прекратится выделение воздуха через воздушник, расположенный на крышке термосифонного фильтра, открывают верхний кран термосифонного фильтра.

Варианты возможного подключения термосифонных фильтров к трансформаторам показаны на рис. 10.

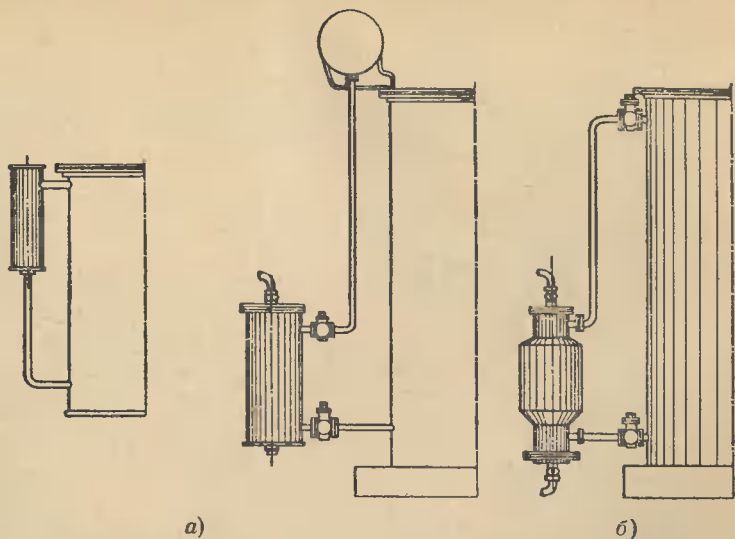


Рис. 10. Варианты возможного подключения термосифонных фильтров к трансформаторам.

а — к трансформаторам небольшой мощности; *б* — к трансформаторам большой мощности.

Т а б л и ц а 3

Типы термосифонных фильтров

Номер рисунка	Типы фильтра	Высота, мм	Диаметр, мм	Емкость по силикагелю, кг
Рис. 9, а	0—1	450	100	1,0
	0—2	505	140	2,5
	0—3	508	180	5,0
	0—4	635	200	7,5
	0—5	735	220	10,0
Рис. 9, б	1	1 000	300	35
	2	1 000	350	48
	3	1 000	400	60
Рис. 9, в	I	1 000	160	10
	II	1 000	260	25
	III	1 000	360	50
	IV	1 000	440	75
	V	1 000	510	100
	VI	1 000	600	125
	VII	1 000	670	150
	VIII	1 000	720	175
	IX	1 000	775	200

Наибольший эффект обеспечивается при подсоединении термосифонных фильтров к трансформаторам с маслами, имеющими кислотное число до 0,15 мг КОН. При большей

Таблица 4

Применимость термосифонных фильтров для различных мощностей трансформаторов

Емкость термосифонных фильтров по силикагелю, кг	Расчетное количество масла, кг	Двухобмоточные трехфазные трансформаторы				Трехобмоточные трансформаторы	
		110 кВ		35 кВ		мощность, кВа	объем масла
		мощность, кВа	объем масла	мощность, кВа	объем масла		
10	1 000	—	—	320	970	—	—
25	2 500	—	—	1 000	2 170	—	—
50	5 000	—	—	3 200	4 970	—	—
75	7 500	—	—	5 600	6 200	—	—
75	7 500	—	—	7 500	6 600	—	—
75	7 500	—	—	10 000	6 000	—	—
75	7 500	—	—	15 000	7 400	—	—
100	10 000	—	—	20 000	8 300	—	—
125	12 500	—	—	31 100	12 400	—	—
125	12 500	5 600	13 300	—	—	—	—
150	15 000	7 500	15 600	—	—	—	—
150	15 000	10 000	15 000	—	—	—	—
175	17 500	15 000	16 500	—	—	—	—
175	17 500	20 000	17 500	—	—	—	—
200	20 000	—	—	—	—	5 600	17 300
200	20 000	—	—	—	—	7 500	18 100
200	20 000	—	—	—	—	10 000	19 800
200	20 000	—	—	—	—	15 000	20 700

окисленности масла применение термосифонных фильтров менее эффективно.

При пониженной электрической прочности масла в трансформаторе до подсоединения термосифонного фильтра должно быть предварительно обработано на центрифуге. Во всех остальных случаях установка термосифонных фильтров может производиться без предварительной подготовки масла.

Смену сорбентов в термосифонных фильтрах следует производить при достижении кислотного числа масла до 0,1—0,12 мг КОН. Средний срок службы сорбента до его замены в термосифонных фильтрах составляет примерно 3,5 года.

Восстановление отработавших сорбентов

Применение искусственных сорбентов (силикагеля или окиси алюминия) является экономичным лишь при условии их восстановления и многократного повторного использования.

Восстановление производится в специальном аппарате посредством продувки отработавшего сорбента горячим воздухом с температурой около 200°C .

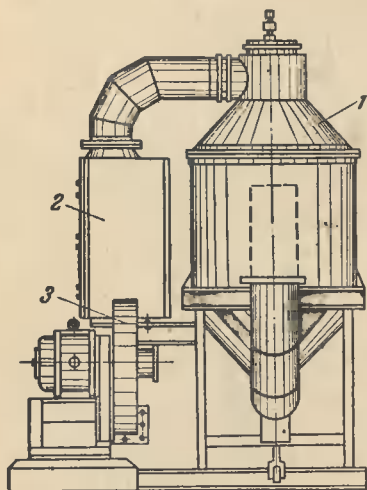


Рис. 11. Установка для восстановления отработанных сорбентов.

1 — бак реактиватора; 2 — электроподогреватель воздуха; 3 — воздуходувка.

Установка для восстановления отработавших сорбентов (рис. 11) состоит из вентилятора с электроприводом, электроподогревателя для воздуха и двухконусного бака — реактиватора, в котором производится восстановление сорбента. При рабочей высоте бака реактиватора 1500 мм и диаметре 600 мм установка обеспечивает одновременное восстановление 120 кг сорбентов. Необходимая производительность электроподогревателя составляет 20 кВт с учетом разогрева установки в течение 40—60 мин. Загрузку отработавшего сорбента производят через верхний, а разгрузку через нижний боковой люки с помощью перфорированного

выдвижного листа. Регулирование расхода подаваемого воздуха производят шибером. При работе установки производят измерение температуры посредством термомпар в верхней, средней и нижней частях аппарата.

Во время работы установки воздух подается в минимальном количестве, обеспечивающем стекание основной массы поглощенного сорбентом масла без его воспламенения и восстановление всего сорбента при температуре, не превышающей $500\text{--}600^{\circ}\text{C}$. Продолжительность обжига колеблется от 4 до 12 ч в зависимости от емкости печи.

После окончания восстановления отбирается проба сорбента и испытывается на адсорбционную способность, как

это описано выше. При этом сорбент считается пригодным для восстановления масел в том случае, если он по своим адсорбционным свойствам не уступает эталону такого же сорбента.

10. ВОЗДУХООЧИСТИТЕЛЬНЫЕ ФИЛЬТРЫ

Воздухоочистительные фильтры (рис. 12) применяются для предохранения масла и изоляции от увлажнения.

Эти фильтры, заполненные чистым силикагелем или силикагелем, пропитанным хлористым кальцием и хлористым кобальтом, очищают воздух, поступающий в аппараты, от влаги и других загрязнений (золы, пыли, сернистого газа, сероводорода, хлора, окислов азота, паров летучих кислот и т. п.).

Воздухоочистительные фильтры подсоединяют к силовым трансформаторам, находящимся как в эксплуатации, так и в резерве, а также к резервным бакам и маслонаполненным вводам.

Воздухоочистительные фильтры подсоединяют к силовым трансформаторам через дыхательную трубку расширителей на высоте 1—1,5 м от земли (рис. 13).

Это делается для удобства наблюдения за изменением цвета индикатора поглотителя влаги через смотровое стекло.

Основными деталями фильтра (рис. 12) являются:

- 1) цилиндрический корпус фильтра;
- 2) масляный затвор, заполняемый маслом АМГ-10;
- 3) пробка для слива масла;
- 4) болт-пробка для заливки масла;
- 5) патрубок, разделяющий полость масляного затвора на две части;
- 6) указатель уровня масла в масляном затворе;
- 7) перфорированный диск;
- 8) проволоочная сетка;
- 9) смотровое стекло для наблюдения за состоянием поглотителя влаги;

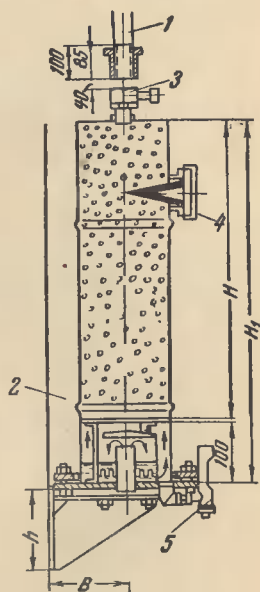


Рис. 12. Воздухоочистительный фильтр для трансформаторов.

1 — дыхательная трубка трансформатора; 2 — стенка бака трансформатора; 3 — соединительный патрубок; 4 — смотровое стекло; 5 — указатель уровня в масляном затворе.

10) трубка для присоединения к трансформатору.

Размер (объем) фильтра подбирают из расчета 0,5—1 кг поглотителя влаги на 1 т трансформаторного масла.

Для предотвращения коррозии фильтр с внутренней стороны должен быть защищен противокоррозийным покрытием.

Принцип действия воздухоочистительного фильтра заключается в следующем.

Воздух из атмосферы поступает через дыхательное отверстие в масляный затвор, в котором частично осушается и очищается от механических загрязнений, а затем проходит через поглотитель влаги в расширитель трансформатора. Масляный затвор, кроме того, служит для изоляции масла от контакта с окружающей атмосферой.

Контроль за поведением в эксплуатации поглотителя влаги заключается в периодическом наблюдении за изменением окраски индикаторного силикагеля, окрашенного хлористым кобальтом. Изменение цвета из голубого в розовый свидетельствует о полном использовании осушителя. В этом случае необходимо осушитель восстановить.

Для восстановления отработавшего осушителя с целью его повторного использования необходимо его просушить в термостате при температуре 90—100° С в течение 6—7 ч.

Влагопоглотитель (осушитель) изготавливается путем насыщения силикагеля раствором хлористого кальция и хлористого кобальта.

Вначале готовится водный раствор хлористого кальция концентрацией 1:2 и насыщенный раствор хлористого кобальта. Приготовленные растворы хлористого кальция и хлористого кобальта смешиваются вместе, при этом смесь принимает розовую окраску.

В полученную смесь засыпают силикагель и выдерживают 20—30 мин.

После отстоя приготовленная масса должна быть высушена при температуре 90—100° С, до получения голубой

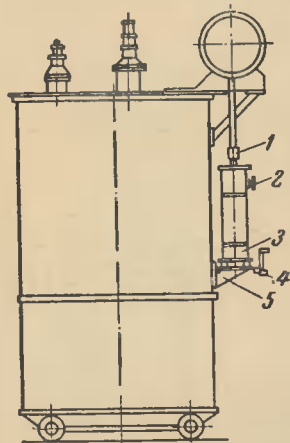


Рис. 13. Установка воздухоочистительного фильтра на трансформаторе.

1—соединительный патрубок; 2—смотровое стекло; 3—масляный затвор; 4—указатель уровня масла; 5—кронштейн.

окраски осушителя. Для изготовления осушителя применяются исходные вещества в следующем соотношении: силикагеля 100 весовых частей, технического хлористого кальция 40 и хлористого кобальта одна весовая часть. Для экономии дефицитного хлористого кобальта рекомендуется голубым осушителем засыпать только сетчатый конус смотрового окна, а остальной объем воздухоочистительного фильтра засыпать силикагелем, насыщенным только хлористым кальцием.

11. АНТИОКИСЛИТЕЛИ

Основной причиной старения трансформаторных масел в эксплуатации является окисление углеводов, составляющих эти масла, кислородом воздуха. Этому процессу способствуют повышенные температуры, каталитическое действие воды, металлических поверхностей и пр.

Одним из способов получения масел с повышенной стабильностью является присадка к ним веществ — антиокислителей, тормозящих окисление. Известно, что содержащиеся в нормально очищенном масле смолы являются естественными антиокислителями, защищающими масло от окисления в начальный (индукционный) период. В этот период антиокислители постепенно утрачивают свои свойства и происходит накопление продуктов окисления.

Искусственно вводимые в масло антиокислители замедляют образование первичных продуктов окисления — перекисей или же разрушают образовавшиеся перекиси и переводят их в безвредные соединения и в связи с этим удлиняют индукционный период окисления масла.

Также имеются присадки, обладающие комплексными свойствами, оказывающие на масло антиокислительное, а на металлы пассивирующее действие.

Под воздействием таких присадок металлы утрачивают свою каталитическую активность, а образующаяся на них пассивная пленка способствует их защите от коррозии. В частности, такими свойствами обладают присадки, имеющие в своем составе серу или фосфор.

Однако пассивирующее действие серы на металлы приводит к увеличению переходного сопротивления контактов и особенно торцовых. Поэтому в аппаратах, имеющих контакты, применение масла с содержанием серы нежелательно.

Существенной особенностью присадок является их избирательность. На одни масла присадки могут оказывать

положительное влияние, на другие совсем не действовать или же даже могут вызывать ухудшение их свойств. Поэтому является обязательной проверка восприимчивости масла к присадке, предназначенной для практического применения. Проверка на восприимчивость производится по методу искусственного окисления образцов масла. Масло считается восприимчивым, если проба масла с присадкой окажется стабильнее (лучше), чем проба без присадки, не менее чем в два раза по наиболее существенным показателям (кислотному числу и осадку).

Для стабилизации трансформаторных масел применяются следующие антиокислители.

Параоксидифениламин (ВТИ-1)

Параоксидифениламин как антиокислительная присадка известна под названием ВТИ-1. Оптимальная концентрация присадки ВТИ-1 составляет 0,01%. С повышением концентрации этой присадки обычно наблюдается увеличение шламообразования в масле.

Присадка трудно растворима в масле. Для масел обычной очистки (товарных) присадка недостаточно эффективна. С повышением глубины очистки масла эффективность присадки возрастает, но одновременно ухудшается ее растворимость и она может выпадать из масла при его охлаждении.

Присадка ВТИ-1 дает небольшой эффект улучшения стабильности свежих масел и полностью неэффективна для масел, находящихся в эксплуатации.

В литературе [Л. 6] приводятся данные об эффективности применения антиокислительной присадки ВТИ-1 для стабилизации масла во вводах масляных выключателей.

Диметиламинофенилдиметилпиразолон

Диметиламинофенилдиметилпиразолон (пирамидон) предложен для стабилизации энергетических масел И. С. Аптовым и З. И. Трегуловой [Л. 7]. Изучение, разработка и широкое внедрение в эксплуатацию выполнены центральной высоковольтной лабораторией Мосэнерго, ОРГРЭС и рядом энергосистем.

Присадка применима для бакинских масел обычной степени очистки (товарные масла), для стабилизации восстановленных масел, а также и для стабилизации масел,

находящихся в эксплуатации с небольшими кислотными числами (до 0,08 мг КОН). Оптимальная концентрация пирамидона для стабилизации масла составляет 0,03%.

На основе практических данных установлено, что антиокислитель пирамидон значительно удлиняет срок службы масел, задерживая образование кислот и осадка.

На рис. 14 приводятся данные срока службы трансформаторного масла с присадкой антиокислителя пирамидона

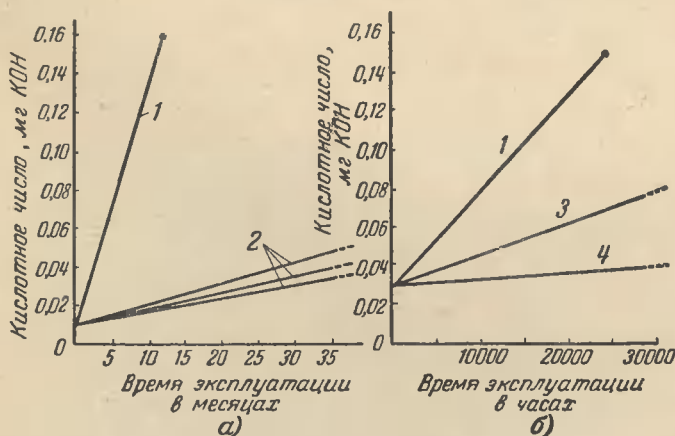


Рис. 14. Увеличение срока службы трансформаторного масла с антиокислительной присадкой (пирамидоном).

а—в маслонаполненных высоковольтных вводах 110—220 кВ; б—в силовых трансформаторах различной мощности. 1—масло без антиокислителя; 2—масло со стабилизированным антиокислителем пирамидоном 0,03%; 3—то же, но для трансформатора мощностью 320 кВа, 6,6 кВ; 4—то же, но для трансформатора мощностью 40 500 кВа, 110 кВ.

(0,03%) и без него во вводах и силовых трансформаторах, которые подтверждают эффективность применения этой присадки к маслам, проверенным на восприимчивость.

Пирамидон при температуре 70—80° С (при перемешивании) хорошо растворяется в трансформаторном масле, не изменяя цвета и электроизоляционных свойств масла. Концентрированный раствор пирамидона может быть изготовлен крепостью до 3% и смешиваться с маслом в маслonaполненной аппаратуре при более низкой температуре без подогрева масла, но когда масло имеет температуру не ниже +10° С.

Для введения в масло пирамидона могут быть использованы адсорберы. Загрузка пирамидона осуществляется путем растворения его в отдельной партии нагретого

масла (концентрат) и введения полученного концентрированного раствора в масляную систему. Для этой цели масло из низа трансформатора самотеком поступает в адсорбер, из адсорбера центрифугой или фильтр-прессом подается в расширитель. Процесс такого перемешивания продолжается до тех пор, пока все масло пройдет через центрифугу или фильтр-пресс.

В случае отсутствия центрифуги и фильтр-пресса перемешивание может быть осуществлено путем перекачки масла насосом.

Экранированные фенолы

Экранированные фенолы обладают незначительной полярностью и хорошей растворимостью в масле.

Примером таких фенолов является 2,6 ди-третичный бутилпаракрезол (сокращенно ДБПК, известный также под названиями янол и топанол).

В отличие от других антиокислителей ДБПК оказывает стабилизирующее влияние на энергетические масла, изготовленные из восточных (сернистых) нефтей.

Присадка ДБПК применяется для стабилизации трансформаторных масел в концентрации 0,2—0,3%.

По имеющимся практическим данным антиокислитель ДБПК задерживает образование шлама, главным образом в первоначальный период окисления масла, в дальнейшем количество шлама в масле с антиокислителем может оказаться более высоким, чем у масла без присадки.

Совместное применение сорбентов и присадок

Большой интерес представляет совместное применение термосифонных фильтров с сорбентами и антиокислительных присадок для стабилизации масла в трансформаторах.

Целесообразность совместного применения термосифонных фильтров и антиокислительных присадок обуславливается следующими соображениями:

1. Антиокислители сами являются окисляющими веществами. По мере того, как они окисляются, эффективность их действия обычно уменьшается и, наконец, прекращается. Для уменьшения окисления самих антиокислителей желательно, чтобы некоторое их количество в качестве запаса находилось в зоне возможно меньшей температуры. Это достигается тем, что при фильтрации масла через термосифонный фильтр часть присадки, поглощенная сорбентами, остается на фильтре, температура в котором значи-

тельно ниже, чем нагрев масла в трансформаторе. При этом сорбент в термосифонном фильтре неизменно поддерживает в масле равновесную концентрацию присадки, а фильтруемое масло подвергается непосредственному воздействию поглощенной сорбентом присадки.

При совместном применении сорбента и антиокислительной присадки последняя может или вводиться в масло или непосредственно наноситься на сорбент, загружаемый в термосифонные фильтры. Исследования показали, что при первом варианте обеспечиваются лучшие результаты и этот способ более удобен для практического использования. Опытные данные показывают, что из различных способов стабилизации энергетических масел наибольшее удлинение срока их службы достигается при одновременном применении термосифонных фильтров с активной окисью алюминия и антиокислительных присадок.

Использование этого способа позволит обеспечить значительное удлинение сроков замены сорбента в термосифонных фильтрах, а также межремонтных сроков работы трансформаторов.

12. АЗОТНАЯ ЗАЩИТА МАСЛА

С применением азотной защиты масла исключается контакт масла с кислородом и влагой воздуха и тем самым исключается процесс его окисления.

Преимущества азотной защиты заключаются в продлении срока службы самих трансформаторов, повышении их перегрузочной способности и упрощении их обслуживания.

В США и ряде европейских стран азотная защита трансформаторного масла находит быстрое распространение и имеет бесспорные перспективы широкого распространения и в нашей стране.

Применяются четыре способа азотной защиты трансформаторов.

1. Азотная защита масла путем полной герметизации бака трансформаторов. Объем азотной подушки выбирается равным 16% объема масла в баке. Бак снабжается аварийным клапаном максимального давления и вакуума. При нагревании и охлаждении масла в трансформаторе будет меняться давление внутри трансформатора. Расчетное давление в баке выбирается не более 0,7 ат, на практике оно оказывается не более 0,5 ат. Бак должен выдерживать испытательное давление 0,9 ат.

Проведенными в США опытами по изучению этого способа азотной защиты масла установлено, что если в баке трансформатора образуются давления свыше $0,7 \text{ ат}$, то при понижении давления из масла могут выделяться пузырьки газа, которые могут привести к снижению электрической прочности изоляции в каналах между обмотками. Поэтому в настоящее время предпочтение отдается азотной защите масла низкого давления.

Система азотной защиты путем полной герметизации бака обычно применяется для новых выпускаемых с завода трансформаторов небольшой мощности до 1000 ква .

Московский трансформаторный завод выпустил партию трансформаторов мощностью 750 ква , снабженных такой азотной защитой.

2. Азотная защита масла с масляным затвором. Связь с атмосферой осуществляется через специальный масляный затвор. В этой конструкции азотная подушка соприкасается с одной стороны с маслом, находящимся в трансформаторе или аппарате, а с другой стороны с маслом одного из дополнительных резервуаров. Второй резервуар соединяется в нижней части с первым, а в верхней части сообщается с атмосферой через силикагелевый воздухоосушительный фильтр.

Завод Изолятор выпускает в настоящее время вводы с масляными затворами. В этих вводах может быть легко осуществлена азотная защита масла. В одной энергосети это делается следующим образом. Ввод вакуумируется при помощи вакуумнасоса. После полного удаления воздуха из ввода при помощи переключающего вентиля подается азот из азотного баллона, при этом производится одновременное испытание ввода избыточным давлением азота в 2 ат для проверки надежности всех уплотнений.

3. Азотная защита низкого давления с постоянной подпиткой азотной подушки из баллонов с азотом. Эта система азотной защиты наиболее совершенная, но требует оснащения устройства азотными баллонами, промежуточным баком для азота, автоматическим редуктором, поддерживающим заданное давление в промежуточном баке, и азотной подушки над расширителем и пространством в выхлопной трубе $0,05 \text{ ат}$.

При увеличении давления при нагревании трансформатора сверх $0,05 \text{ ат}$ избыточное давление сбрасывается че-

рез ртутный затвор в атмосферу. При понижении давления внутри трансформатора оно автоматически восстанавливается путем подпитки из промежуточного бака и баллона через редуктор.

Таким образом, практически в азотной подушке трансформатора происходит периодическая замена азота, что способствует удалению летучих кислот.

4. Азотная защита низкого давления с постоянным объемом азота и применением эластичных резервуаров (рис. 15). Преимущество этой защиты заключается в простоте устройства, дешевизне и в том, что она может быть применена для трансформаторов, уже находящихся в эксплуатации.

При выполнении этого устройства следует удалить из масла растворенный в нем кислород путем вакуумирования, затем пространство над расширителем и резервуар заполняются азотом, при этом масло в трансформаторе должно находиться на отметке 1 расширителя. Далее проверяется герметичность всех мест сочленения с применением мыльного раствора, а затем из трансформатора спускается немного масла с тем, чтобы в расширителе оно установилось на отметке, соответствующей данной температуре масла.

Эластичный баллон из синтетической резины выбирается такого объема, чтобы обеспечить изменение уровня масла в расширителе в необходимых пределах, сам баллон помещается в металлический защитный кожух.

Как показал опыт, трансформаторы имеют сообщение с атмосферой через высоковольтные вводы, спускную пробку выхлопной трубы и другие неплотности, которые необходимо выявлять в каждом отдельном случае и устранять.

Если не устранить этих неплотностей, эффект азотной защиты может быть сведен к нулю.

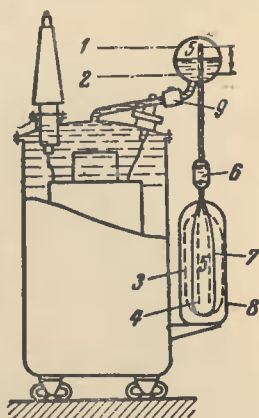


Рис. 15. Трансформатор с азотной защитой низкого давления.

а — пределы изменения уровня масла в расширителе. 1 — максимальный уровень масла; 2 — минимальный уровень масла; 3 — максимальное расширение эластичного баллона (нагретый до предела трансформатор); 4 — минимальный объем азота в баллоне (холодный трансформатор при возможной отрицательной температуре); 5 — атмосфера азота; 6 — сепаратор; 7 — эластичный резервуар из синтетической резины; 8 — металлический защитный кожух; 9 — газовое реле

13. ПРОТИВОПОЖАРНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ И ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

Наибольшая опасность, которая грозит масляному хозяйству, заключается в возможности возникновения пожара.

Особенности пожара масла, выделяющие его из ряда других, заключаются в следующем:

а) высокая температура горения ($1\ 200^{\circ}\text{C}$) не позволяет приблизиться к очагу пожара;

б) трудность тушения горящего масла, — требуется большое количество дефицитных гасительных средств (жидкая углекислота, пеногоны);

в) выделение огромных количеств черной летучей сажи, которая покрывает плотным слоем все окружающие предметы.

Пожар небольшого количества разлитого на полу масла можно потушить, забрасывая огонь песком. Пожар средней силы можно потушить огнетушителями-пеногонами.

Если начался пожар в аппарате с большим количеством масла или вблизи него, то в первую очередь надо поднять пожарную тревогу, далее одновременно с тушением пожара надо отвести по аварийным маслостокам все масло из зоны пожара. Это является наилучшим средством для недопущения развития пожара.

Если начался пожар баков с маслом на открытом воздухе и нет аварийного маслостока, то надо накрыть все соседние резервуары мокрым брезентом и поддерживать их все время мокрыми.

Чтобы не допустить растекания горящего масла, необходимо насыпать вокруг бака земляной вал и выкопать канаву для отвода масла в безопасном направлении. Для собирания пролитого масла под трансформаторами и выключателями наружной установки делают ямы с гравийной или щебенчатой засыпкой. Дно и стенки маслосборной ямы бетонируются, а сама яма соединяется с дренажом.

Препятствием для быстрого спуска масла из горящего аппарата могут явиться спускные краны. Некоторые трансформаторы, несмотря на большие размеры баков, имеют небольшие спускные краны, через которые масло может быть слито через несколько часов. Известны случаи взрыва паров масла в трансформаторах, подвергшихся крекинг-процессу, а также взрыва паров и газов при работе масляных выключателей.

После отключения масляным выключателем короткого

замыкания ни в коем случае нельзя зажигать спички или входить с керосиновым фонарем в камеру выключателя, так как в камере может образоваться взрывчатая смесь.

При подогревании масла необходимо соблюдать осторожность, чтобы не допустить пожара.

Регенерационная установка должна монтироваться в отдельном помещении или под открытым небом. При установке должны находиться огнетушители, ящики с песком, кошма и лопаты.

Во избежание отравления при работе по очистке емкостей для отработавшего или регенерированного масла следует принимать следующие меры предосторожности:

а) после опорожнения бака надо продуть его паром или сжатым воздухом и выдерживать его с открытой крышкой в течение нескольких часов;

б) для освещения резервуаров при очистке их внутренних поверхностей должны применяться аккумуляторные лампы взрывобезопасного типа.

При эксплуатации регенерационных установок, работающих по схеме «кислота—земля», следует принимать все меры предосторожности по обращению с серной кислотой. Очистка масла под напряжением должна применяться лишь в случае невозможности снятия с аппарата напряжения или в случае, если отключение трансформатора будет связано с недоотпуском энергии потребителям. К очистке масла под напряжением может быть допущен лишь персонал, полностью освоивший методику очистки масла с применением адсорберов, после проверки знаний соответствующих эксплуатационных инструкций и правил безопасности.

Очистка масла под напряжением может производиться на открытых подстанциях напряжением 35 кВ и выше, причем количество залитого в трансформатор масла должно быть не менее 500 кг. Кроме того, емкость расширителей трансформаторов должна быть такой, чтобы после включения адсорбционной установки уровень масла в расширителе не понизился по отношению к верхней отметке первоначального уровня более чем наполовину.

Работа персонала с трансформаторным маслом до сих пор производилась в теплое время года в костюмах и комбинезонах из хлопчатобумажной ткани, а в зимнее время в ватных телогрейках.

Такая спецодежда быстро пропитывается трансформаторным маслом и может легко воспламеняться.

Защитное покрытие из капронового пластика, надеваемое поверх обычной спецодежды, предохраняет спецодежду от пропитывания трансформаторным маслом.

В комплект защитного покрытия из капронового пластика для подстанционного персонала входят:

1. Защитная куртка с капюшоном.
2. Брюки на резинках, рис. 16.

Ввиду того что капроновый пластикат от нагревания плавится и загорается, для полной защиты спецодежды не только от загрязнения маслом, но и от воспламенения не-

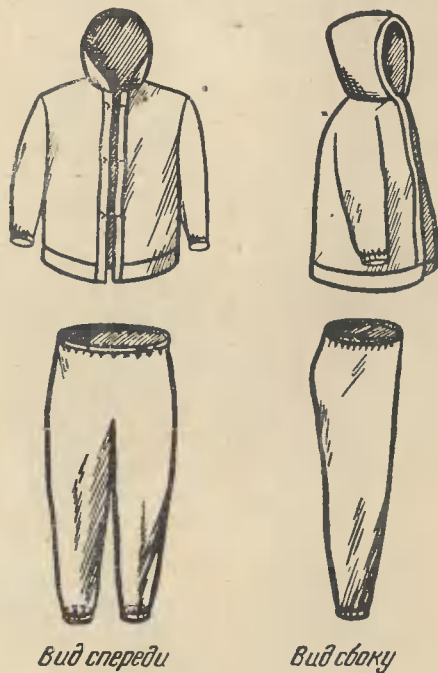


Рис. 16

обходимо хлопчатобумажной спецодежде придать свойство негорючести. Пропитка имеет целью предохранить хлопчатобумажную спецодежду от воспламенения, горения и тления при кратковременном соприкосновении с огнем, раскаленными предметами, искрами и т. д.

Пропитка не предотвращает разрушение ткани в местах продолжительного воздействия перечисленных факторов. Для пропитки хлопчатобумажной спецодежды применяет-

ся раствор диаммонийфосфата с водой по следующей рецептуре:

Диаммонийфосфат — 180—200 вес. частей.

Вода 1 000 вес. частей.

Диаммонийфосфат при помешивании растворяют в воде при комнатной температуре. Раствору дают отстояться от взвешенных частиц, после чего прозрачный раствор сливается в чистую посуду, в которой помещают для пропитки спецодежду.

Раствор диаммонийфосфата для пропитки берется из расчета 4—5 л раствора на 1 кг сухой ткани.

Спецодежде, погруженной в сосуд с раствором диаммонийфосфата, дают полностью пропитаться раствором, переворачивая ее время от времени. Затем спецодежду отжимают от избытка раствора и сушат при комнатной температуре.

Пропитанная и высушенная ткань не должна на поверхности иметь выделившуюся соль, а образцы материала, помещенные в раствор и пропитанные, при испытании не должны воспламеняться, гореть или тлеть.

Пропитка диаммонийфосфатом сохраняет воздухопроницаемость ткани. Пропиточный состав растворяется в воде и при стирке ткани смывается. Поэтому после каждой стирки необходимо повторно производить пропитку спецодежды раствором диаммонийфосфата.

ЛИТЕРАТУРА

1. Инструкция по контролю качества эксплуатационных энергетических масел, ТУ МЭС, Госэнергоиздат, 1957.
2. О трансформаторном масле из сернистых нефтей. Эксплуатационный циркуляр № Э-6/59. Союзглавэнерго, Госэнергоиздат, 1959.
3. Сушка трансформаторного масла распылением в вакууме. Рационализаторские предложения, вып. 139, Союзглавэнерго — ОРГРЭС, Госэнергоиздат, 1959.
4. Бабкин Р. Л., Сушка изоляционного масла сухим воздухом. Электрические станции, 1956, № 10.
5. Фридман С. М., Сорбенты для регенерации масел с применением термосифонов и адсорберов. «Электрические станции», 1952, № 11.
6. Веселовский А. П., Увеличение срока службы трансформаторного масла во вводах при помощи присадки ВТИ-1. «Энергетик», 1953, № 1.
7. Аптов И. С. и Трегулова З. И., Использование пирамидона и антипирина в качестве антиокислителей для стабилизации турбинных и трансформаторных масел. Рационализаторские предложения. ОРГРЭС, вып. № 118, Госэнергоиздат, 1958.
8. Емельянов Я. Г. и Кабанов Е. И., Применение новых антиокислителей пирамидона и антипирина. «Энергетик», 1957, № 7.
9. Иванов В. С., Стабилизация и восстановление энергетических масел. Из опыта советской энергетики, Госэнергоиздат, 1958.
10. Доберер Е. К. и Мессерман Г. Т., Электрические характеристики стабилизированного трансформаторного масла с присадкой ВТИ-1. «Вестник электропромышленности», 1959, № 1.
11. Доберер Е. К. и Мессерман Г. Т., Стабилизированное трансформаторное масло. Обзор зарубежной литературы, «Вестник электропромышленности», 1956, № 10.
12. Полторацкий В. А., Опыт азотной защиты трансформаторов на Московском трансформаторном заводе, «Вестник электропромышленности», 1958, № 11.
13. Аптов И. С. и Хомяков М. В., Определение характера повреждений внутри трансформаторов по составу выделяющихся газов в газовом реле. «Электрические станции», 1956, № 5.
14. Десь Р. Т. и Кульпина Е. П., Применение метода регенерации масел силикагелем, обработанным газообразным аммиаком. «Электрические станции», 1957, № 6.
15. Лосиков Б. В., Физико-химические основы регенерации масел. Гостехиздат, 1948.
16. Черножуков Н. И., Крейн С. Э. и Лосиков Б. В., Химия минеральных масел, Гостехиздат, 1951.

17. Черзожуков Н. И., Крейн С. Э., Окисляемость минеральных масел, Гостоптехиздат, 1955.

18. Юдильевич М. М., Опыт рационализации масляного хозяйства энергетических цехов предприятий черной металлургии. Из опыта Советской энергетики, Госэнергоиздат, 1958.

19. Трансформаторы, вып. 2. Энергетика за рубежом. Госэнергоиздат, 1959.

20. Иванов В. С., Термосифонные фильтры и адсорберы для регенерации трансформаторных и турбинных масел. Гостоптехиздат, 1952.

21. Агишев И. Н. и Иванов Г. М., Установка для регенерации силикагеля, «Электрические станции», 1947, № 7.

22. Трансформаторы с азотной защитой масла (реферат). Электрохозяйство за рубежом. Приложение к журналу «Электрические станции», 1958, № 3.

23. Крейн С. Э. и Куликова Р. В., Нефтяные изоляционные масла. Госэнергоиздат, 1959.

24. Иванов В. С. и Фридман С. М., Масла и консистентные смазки, Справочник химика-энергетика, т. третий, Госэнергоиздат, 1957.

25. Юдильевич М. М., Некоторые вопросы эксплуатации энергетических масел, «Электрические станции», 1960, № 3.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение	3
2. Общие сведения о составе и приготовлении трансформаторного масла	4
3. Старение масла в эксплуатации	5
4. Отбор проб масла для испытания	7
5. Объем испытаний и нормы на изоляционные масла	9
6. Основные физико-химические свойства изоляционного масла	15
7. Уход за маслом в эксплуатации	35
8. Очистка и сушка масла	37
9. Восстановление масел	42
10. Воздухоочистительные фильтры	57
11. Антиокислители	59
12. Азотная защита масла	63
13. Противопожарные мероприятия и техника безопасности	6
14. Литература	70

„БИБЛИОТЕКА ЭЛЕКТРОМОНТЕРА“

ВЫШЛИ ИЗ ПЕЧАТИ

- Каминский Е. А., Как сделать проект простейшей электроустановки (выпуск 19)
Камнев В. С., Подшипники качения в электрических машинах (выпуск 20)
Авиновский И. Я., Оконцевание силовых кабелей (выпуск 21)
Ключев С. А., Как рассчитать электрическое освещение производственного помещения (выпуск 22)
Хомяков М. В. и Якобсон И. А., Термитная сварка многопроволочных проводов (выпуск 23)
Федотов Б. Н., Схемы включения электрических счетчиков (выпуск 24)
Стешенко Н. Н., Техника безопасности при эксплуатации электроустановок на строительстве (выпуск 25)
Жерве Г. К., Как рассчитать обмотку статора асинхронного двигателя (выпуск 26)

ГОТОВЯТСЯ К ПЕЧАТИ

- Анастасиев П. И., Сооружение и монтаж воздушных линий до 1000 в
Балуев В. К., Техника безопасности при эксплуатации передвижных электротехнических средств
Боярченко М. А. и Шинянский А. В., Магнитные усилители (выпуск 30)
Гуреев И. А., Шинопроводы напряжением до 1000 в
Дементьев В. С., Как определить повреждение в силовом кабеле
Ермолин Н. П., Как рассчитать маломощный силовой трансформатор
Кожин А. Н., Релейная защита линий 3—10 кВ на переменном токе
Ключев В. И., Выбор электродвигателей для производственных механизмов
Локшин М. В., Ремонт высоковольтных изоляторов до 35 кВ (выпуск 29)
Мишустина Л. И., Воздушные автоматические установочные выключатели
Михалков А. В., Что нужно знать о регулировании напряжения (выпуск 28)
Севастьянов М. И., Техника безопасности такелажных работ при монтаже энергетических установок