

УДК 621.3.05

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ЗАГРУЗКИ ТРАНСФОРМАТОРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СРОКА СЛУЖБЫ

Мензелейев А.С.

Научный руководитель – к.т.н., доц. Старжинский А.Л.

Наиболее важные элементы сетей являются трансформаторы. Надежность его работы должны быть высока и определяется надежностью его обмоток. Факторы, которые определяют надежность изоляции обмоток разнообразны. В процессе изготовления могут быть повреждения изоляции, попадание частиц ферромагнитных материалов, что приводит к разрушению изоляции в результате вибрации. Но важнейшим фактором, который определяет надежность трансформатора, является нагрев изоляции обмоток. В процессе эксплуатации возможны перегрузки трансформаторов на различный период времени, что сказывается на сроке службы изоляции и естественно трансформатора. Срок службы изоляции трансформатора была получена на основе уравнения Монтзингера [1, 2]:

$$T = B e^{-\alpha \theta}, \quad (1)$$

где  $T$  – срок службы, лет;

$\theta$  – температура, °С

$B$  – и  $\alpha$  – коэффициенты, зависящие от свойств материала изоляции [1].

По результатам опытов [1] установлено, что для изоляции класса нагревостойкости А  $\alpha = 0,0866$ ,  $B = 9,4 \cdot 10^4$  года. По ГОСТ 11677-75 срок службы этой изоляции составляет 25 лет при температуре обмотки 95 °С. Для того, чтобы строить обобщенные модели прогнозирования целесообразно использовать теорию подобия [3].

Относительная степень старения можно представить выражением:

$$\frac{\varepsilon_{\theta}}{\varepsilon_H} = \frac{t}{t_0} e^{\alpha(\theta-95)}, \quad (2)$$

где  $\varepsilon_{\theta}$  – износ изоляции;

$\varepsilon_H$  – номинальный износ изоляции;

$t$  – отрезок времени;

$t_0$  – любой отрезок времени.

Выражение (2) записано в безразмерной форме, является критериальным, если будет выполняться условие  $\alpha = \text{idem}$ . Используя теорию подобия, при условии  $\alpha = \text{idem}$  выражение (2) принимает вид:

$$\varepsilon_* = t_* e^{95\alpha(\theta_*-1)}, \quad (3)$$

где  $\varepsilon_* = \varepsilon_{\theta} / \varepsilon_H$ ;  $t_* = t / t_0$ ;  $\theta_* = \theta / 95$ .

Критериальные модели прогнозирования износа изоляции более удобны при анализе. Они позволяют оценить износ изоляции без знания фактических значений температуры и времени, а оперируя только их относительными

значениями. По выражению (3) можно определить эквивалентное время работы трансформатора в нормальных условиях, используя выражение:

$$t_3 = \varepsilon_* \cdot t_0. \quad (4)$$

В практике более удобно пользоваться зависимостью не  $\varepsilon_*$  не от относительной температуры  $\theta_*$ , а от нагрузки:

$$I_* = \frac{I}{I_H}, \quad (5)$$

где  $I$  – ток нагрузки в течении времени  $t$ ,

$I_H$  – номинальный ток трансформатора.

Температура обмоток трансформатора как правило в практике не известна, а протекающий ток в обмотках известен, благодаря наличию приборов.

Расчеты с зависимостью срока службы от относительного значения тока  $I_*$  по выражению (1) представлены в таблице 1, результаты расчетов которых взяты из [4].

Используя относительные значения  $I_*$ , мы можем сразу оценивать количественно изменение износа  $\varepsilon_*$  в относительных единицах или в %, при этом не зная их действительной величины в именованных единицах.

Таблица 1 – Расчетные данные температур и срока службы при температуре воздуха  $\theta_0=20^{\circ}\text{C}$

$I_*$	$\xi$	$T_M, ^{\circ}\text{C}$	$T_{0-M}, ^{\circ}\text{C}$	$\theta_M, ^{\circ}\text{C}$	$\theta_{\text{ср}}, ^{\circ}\text{C}$	$T, \text{ лет}$	$\varepsilon_*$ при $t=t_0$
0,7	0,917	25,13	13,18	45,13	58,31	255	$9,9 \times 10^{-2}$
0,8	0,940	29,43	16,65	49,43	66,08	130	$1,9 \times 10^{-1}$
0,9	0,968	34,37	20,58	54,37	74,95	60,64	$4,1 \times 10^{-1}$
0,95	0,984	37,10	22,73	57,10	79,83	39,76	$6,3 \times 10^{-1}$
1,00	1,0	40	25	60	85	25	1,0
1,05	1,017	43,10	27,40	63,10	90,50	15,81	1,58
1,10	1,035	46,34	29,93	66,34	96,27	9,60	2,6
1,15	1,054	49,82	32,62	69,82	102,44	5,65	4,4
1,20	1,074	53,48	35,45	73,48	108,93	3,20	7,8
1,25	1,096	57,38	38,45	77,38	115,83	1,79	13,9
1,30	1,119	61,54	41,63	81,54	123,17	0,94	26,6
1,35	1,143	65,88	44,95	85,88	130,83	0,48	52,1
1,40	1,168	70,52	48,49	90,52	139,00	0,23	$1,1 \times 10^2$

где  $\xi = \frac{r_0}{r_{\theta_H}}$  – отношение сопротивлений при температурах  $\theta$  и  $\theta_H$ ;

$T_M, T_{0-M}$  – превышение температуры масла над воздухом и обмотки над маслом, соответственно;

$\theta_M$  – температура масла;

$\theta_{\text{об.ср.}}$  – температура обмотки;

Величина  $T = 255$  лет большая величина, которая значительно превосходит срок службы трансформатора не только нормируемый, но и срок морального старения. Отсюда можно сделать вывод, что эксплуатировать трансформатор при такой нагрузке нецелесообразно. Из данных таблицы 1 можно сделать вывод, что целесообразная нагрузка составляет  $I^* = 1,0 - 0,95$ , что позволяет сохранить срок службы в 25 - 40 лет, без учета других воздействий.

При нагрузке трансформатора  $I^* = 1,3$  срок службы составляет около 0,5 года. Даже при нагрузке  $I^* = 1,1$  срок службы уменьшается в 2,5 раза, по сравнению с нормируемым. Следовательно, перегрузка длительная перегрузка трансформатора даже на 10% недопустима.

В ПТЭ и ПУЭ допустима перегрузка трансформатора на 40%. Из (3) следует, что такая перегрузка эквивалентна 107 часам работе трансформатора в номинальном режиме. Но так как трансформаторы чаще всего недогружены, то с нагрузкой трансформатора  $I^* = 0,7$  перегрузка на 40% в течение 5 суток по 6 часов допустима за срок эксплуатации 25 лет не чаще 1 раза в год [4].

Данная зависимость от нагрузки удобна для применения на практике. Нет необходимости в расчете или измерения температуры обмоток. Так же данную модель можно использовать для определения величины нагрузки трансформатора по заданному износу изоляции [4].

#### Литература

1. Боднар В.В. Нагрузочная способность силовых масляных трансформаторов.- М.: Энергоатомиздат, 1983.-176 с.
2. Васютинский С.Б. Вопросы теории и расчета трансформаторов. -Л.: Энергия, 1970.-432с.
3. Веников В.А. Теория подобия и моделирования.-М.: Высш.шк. , 1976.-479 с.
4. Петров В.С. Разработка математической модели прогнозирования надежности силовых трансформаторов // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 7, №2 (2015)