

УДК 621.314.222.6

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Гоманова В. А., Богурина Е. А.

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

Силовые трансформаторы являются основными технологическими элементами подстанций и играют важную роль в процессе передачи и преобразования электрической энергии, а также целостности электроэнергетической системы в целом. Однако все трансформаторы имеют свой эксплуатационный ресурс и в случае его превышения, особенно под воздействием неблагоприятных условий, трансформаторному оборудованию могут быть нанесены тяжелые повреждения, что может повлечь частичное или полное нарушение электроснабжения потребителей.

Для поддержания требуемой эксплуатационной надежности трансформаторов необходимо своевременное проведение капитальных ремонтов по результатам диагностического контроля. При этом, необоснованное решение о проведении капитального ремонта или отказе от его проведения приводит к неоправданным финансовым затратам в первом случае, или к снижению надежности, срока службы и даже отказам, а в итоге - к значительным материальным потерям.

Продлить срок эксплуатации трансформаторов возможно при наличии достоверной информации о техническом состоянии силового трансформатора. Анализ должен решать несколько важных задач, таких как:

- 1) выявление наиболее вероятных мест повреждения трансформатора на примере других трансформаторов аналогичного типа;
- 2) оценка состояния твердой изоляции (увлажнение, загрязнение, деструкция);
- 3) оценка состояния магнитной системы (прессовка, потери холостого хода, изоляция элементов от бака и т.п.);
- 4) оценка механического состояния обмоток (прессовка, деформации);
- 5) оценка качества трансформаторного масла;
- 6) оценка систем охлаждения, очистки и защиты масла;
- 7) оценка состояния вводов;
- 8) оценка состояния регуляторов напряжения (РПН, ПБВ).

Надежность работы трансформаторного оборудования непосредственно связана с его сроком службы. От продолжительности эксплуатации трансформатора зависят допустимые значения воздействующих режимных факторов и их количество.

Повышение надежности и экономичности эксплуатируемого оборудования необходимо не только из-за растущей мощности энергопотребления, но и на случай спада темпов ввода в эксплуатацию нового электрооборудования.

Важность решения задачи повышения эксплуатационных ресурсов силовых трансформаторов (далее СТ) определяется в последнее время значительным ростом количества морально и физически устаревшего

оборудования. Старение и износ трансформаторного электрооборудования ЭС и систем ЭСН вызваны сокращением объёмов финансирования текущих и капитальных ремонтов.

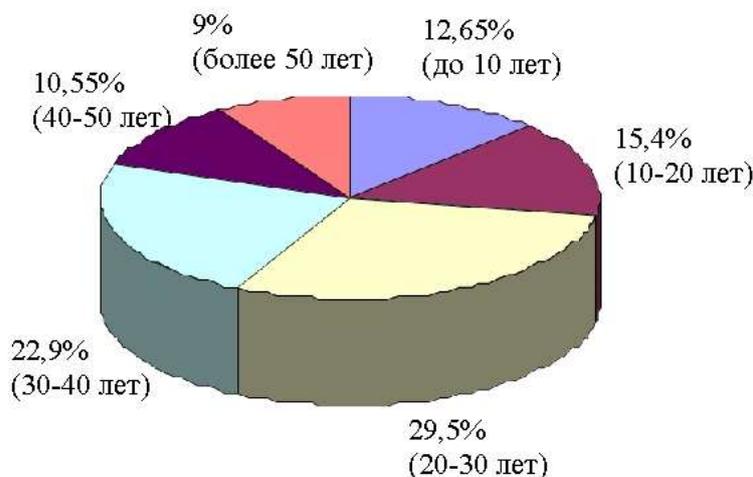


Рисунок 1. Среднее распределение по срокам службы силовых трансформаторов

Основными причинами старения трансформаторов являются: перенапряжения, воздействия токов КЗ, тепловая нагрузка, увлажнение, старение изоляции и масла, несовершенство адсорбционных фильтров, недостаточное охлаждение, ненадежность контактных токоведущих соединений и др.

На рисунках 3 и 4 представлены гистограмма, аппроксимирующая плотность вероятности (3), эмпирическая и теоретическая функция распределения отказов почти четырёхсот силовых трансформаторов мощностью до 1000кВА:

$$\begin{aligned}
 f_I(t) &= 0,069 \cdot t^{-0,002} \cdot e^{-0,1598 \cdot t^{0,998}}, & 0 \leq t \leq 12 \text{ лет} \\
 f_{II}(t) &= 0,0099, & 12 \leq t \leq 23 \text{ лет} \\
 f_{III}(t) &= 0,165 \cdot 10^{-9} \cdot t^{5,5485} \cdot e^{-0,025 \cdot 10^{-9} \cdot t^{6,5485}}, & 23 \leq t \leq 40 \text{ лет}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Получено, что для трёх интервалов ресурсов (I – приработочный, II – нормальной эксплуатации, III – деградационный) наработка на отказ СТ описывается распределением Вейбулла с параметрами $\alpha_1 = 0,1598$ и $\delta_1 = 0,998$ на интервале 0...12 лет, на интервале 23...40 лет – также распределением Вейбулла, с параметрами $\alpha_3 = 0,025 \cdot 10^{-9}$ и $\delta_3 = 6,5485$, а на промежуточном интервале 12...23 – равномерным законом распределения с коэффициентом $a = 0,0099$.

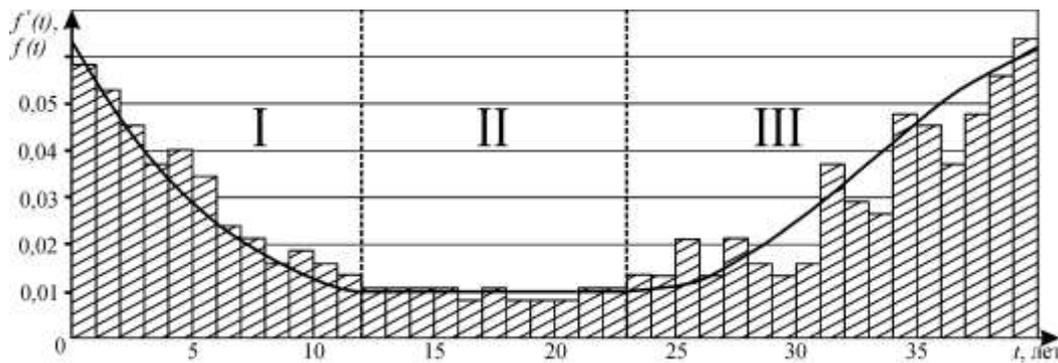


Рисунок 2. Гистограмма и плотность вероятности распределения на отказ СТ до 1000 МВА

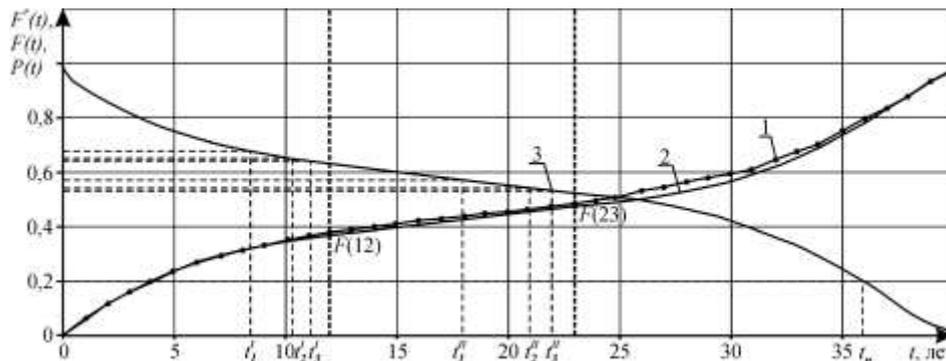


Рисунок 3. Вероятностная функция распределения на отказ СТ до 1000 кВ·А (1 – эмпирическая кривая распределения вероятности отказов; 2 – теоретическая кривая распределения отказов; 3 - теоретическая кривая распределения вероятности безотказной работы СТ)

Среднее время безотказной работы СТ определено как математическое ожидание:

$$\begin{aligned}
 T &= \int_{T=0}^{T_1=12} t \cdot 0,0692 \cdot t^{-0,002} \cdot e^{-(0,1598 \cdot t^{0,998})} dt + \int_{T_1=12}^{T_2=23} t \cdot 0,0099 dt + \\
 &+ \int_{T_2=23}^{T_3=40} t \cdot 0,165 \cdot 10^{-9} \cdot t^{5,5485} \cdot e^{-(0,025 \cdot 10^{-9} \cdot t^{6,5485})} dt = 21,34 \text{ года.}
 \end{aligned}$$

Найдем вероятность безотказной работы:

$$P_I(t) = 1 - \left(\frac{n_I}{N} - \int 0,0692 \cdot t^{-0,002} \cdot e^{-(0,1598 \cdot t^{0,998})} dt \right);$$

$$P_I(t) = 1 - F(12) + E_x;$$

$$P_{II}(t) = 1 - \left(\frac{n_{II}}{N} - \int 0,0099 dt \right);$$

$$P_{II}(t) = 1 - F(23) + E_x;$$

$$P_{III}(t) = 1 - \left(\frac{n_{III}}{N} - \int 0,165 \cdot 10^{-9} \cdot t^{5,5485} \cdot e^{-(0,025 \cdot 10^{-9} \cdot t^{6,5485})} dt \right);$$

$$P_{III}(t) = E_x;$$

где $P(t) = 1 - F(t)$ – вероятность безотказной работы,
 n_i – количество отказов на каждом из 3-х интервалов,
 N – общее число отказов.

Таблица 1. - Предельно допустимые нормы эксплуатационного ресурса СТ.

Интервал	I			II			III
	E_x	0,05	0,02	0,01	0,05	0,02	0,01
t , лет	8,44	10,38	11,19	17,90	20,93	21,94	35,98

При анализе вероятностной характеристики интенсивности отказов СТ до 1000 кВ·А можно дать рекомендацию об ограничении эксплуатации СТ сроком, когда на интервале деградации интенсивность отказов не будет превышать интенсивность отказов периода приработки. Тогда максимальный срок эксплуатации СТ будет ограничен 30,97 годами с целью повышения надёжности работы и обновления эксплуатируемого парка трансформаторов.

Для поддержания силовых трансформаторов в работоспособном состоянии, предупреждения отказов и преждевременного износа требуется выполнение профилактических мероприятий по техническому обслуживанию, диагностированию, ремонту и по управлению режимами СТ.

Литература

1. Кузнецов Н.Л. Сборник задач по надёжности электрических машин: Учеб. пособие. – М.: Изд. Дом МЭИ, 2008. – 408 с
2. Кузнецов Н.Л. Надёжность электрических машин: Учеб. пособие для вузов/ Н.Л. Кузнецов. – М.: Изд. Дом МЭИ, 2006. – 408 с
3. Вентцель Е.С. Теория вероятностей : Учеб. для вузов. – 6-е изд. – М.: Высш. шк.1999. – 579 с.