

УДК 621.019

МОДЕЛИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ.**САФАРОВА Т.Х., АБДУЛЛАЕВА С.А.***АзНИПИИ Энергетики, г.Баку*

Разработан алгоритм оценки показателей долговечности элементов выключателей, износ которых происходит преимущественно в результате дискретных воздействий.

Повышение надежности выключателей с каждым годом приобретает все большую значимость. Объясняется это не только возрастающими последствиями их отказов, но и прежде всего с превышением срока службы выключателей расчетной величины, возрастающим несоответствием структурной надежности схем распределительных устройств предъявляемым требованиям. Повышение надежности выключателей может быть достигнуто своевременным плановым ремонтом, который в настоящее время выполняется при превышении числа отключаемых коротких замыканий N допустимой величины $N_{\text{доп}}$ или при превышении межремонтного периода регламентированного значения. В то же время, хорошо известно, что наиболее эффективной формой планового восстановления износа выключателей, как и любого другого энергетического оборудования, является ремонт по техническому состоянию. Техническое состояние выключателей устанавливается по данным его периодических испытаний, в процессе которых измеряются диагностические показатели (ДП), характеризующие электрические, тепловые, механические и иные свойства отдельных узлов выключателей. Результаты измерения ДП сопоставляются с нормативными значениями и выносится заключение о соответствии или несоответствии технического состояния выключателей предъявляемым требованиям. Однако, остается открытым вопрос о безотказности выключателей в предстоящий межремонтный период, т.к. не определяются показатели долговечности: ни остаточный ресурс выключателей, ни остаточный срок службы и его непревышение длительности межремонтного периода.

В [1] были рассмотрены модели износа выключателей и определение отмеченных выше показателей долговечности в предположении, что предельное значение износа имеет место при $N=N_{\text{доп}}$, а косвенно характеризующая износ величина $N_{\text{доп}}$ однозначно соответствует предельным значениям ДП, непосредственно отражающих степень разрегулировки. К числу таких показателей относятся временные характеристики выключателей. По мере старения однозначность соответствия N и ДП нарушается. Действительно, нельзя не согласиться с тем, что, несмотря на проведение ремонтных работ полностью восстановить износ без замены элементов на новые невозможно. И хотя после планового ремонта величина N естественно принимается равной нулю, элементы электроустановок содержат некоторый неустранимый износ, обусловленный изменением свойств материала. Остаточный износ в течение срока службы элемента тем больше, чем больше предшествовало воздействий и чем «тяжесть» этих воздействий была больше. При эксплуатации выключателей, соглашаясь с наличием остаточного износа (элементы не новые), тем не менее, принимается предположение о неизменности $N_{\text{доп}}$. Рассмотрим этот вопрос более подробно.

Закономерности изменения свойств материала, определяются условиями работы и не всегда линейны. Так известна нелинейность процессов накопления усталостной

прочности металла, изменения электрических характеристик изоляции обмоток вследствие перегрузок по току и др.

Будем различать три разновидности процессов дискретного износа для однотипных воздействий:

1. Каждое воздействие вызывает постоянную величину износа равную ΔIz .
2. Износ каждого последующего воздействия в момент t_2 [$\Delta Iz(t_2)$] меньше износа от предыдущего воздействия $\Delta Iz(t_1)$, т.е. $\Delta Iz(t_1) > \Delta Iz(t_2)$, где t_1 и t_2 – моменты возникновения дискретных воздействий, $t_2 > t_1$.
3. Износ каждого последующего воздействия превышает износ от предыдущего воздействия, т.е. $\Delta Iz(t_1) < \Delta Iz(t_2)$, где $t_2 > t_1$

Опыт эксплуатации и экспериментальные исследования показывают, что для элементов электроустановок постоянная величина изменения износа наблюдается на элементах, износ которых не превышает регламентируемых заводом-изготовителем значений (в виде предельных значений ДП). Для ряда ДП наблюдается уменьшение величины приращения износа, что, как правило, обуславливается тем, что элементы «приспосабливаются» к условиям работы и проявляется, как правило, после плановых ремонтов. Наиболее опасны для оборудования условия, когда $\Delta Iz(t_1) < \Delta Iz(t_2)$, т.е. приращение износа возрастает. Этот процесс именуется катастрофическим износом и имеет место при эксплуатации электроустановок, техническое состояние которых не удовлетворяет предъявляемым требованиям (ДП превышают допустимые значения).

Главной задачей эксплуатации электроустановок является повышение качества проводимых плановых ремонтов и предотвращение катастрофического износа. В связи с вышеизложенным, можно заключить, что увеличение остаточного износа приводит к уменьшению фактического значения допустимого числа дискретных воздействий $N_{доп}$ и, соответственно к увеличению числа дискретных воздействий, ведущих к катастрофическому износу и росту вероятности аварийного повреждения элемента и электроустановки в целом. Таким образом, оценка технического состояния по условию не превышения числа воздействий (приведенных к единичному повреждению) допустимой величины $N_{доп}$, для элементов, срок службы которых приближается к расчетному ($T_{доп,р}$), а тем более превышающих его, может привести к увеличению числа отказов. Оценка ПД элементов, с $T_d \geq T_{доп,р}$ наиболее просто может быть выполнена путем снижения $N_{доп}$ до величины, отражающей остаточный износ элемента. Однако, к сожалению, величину остаточного износа можно оценить лишь в результате сложных экспериментальных исследований и, следовательно, применить изложенный выше алгоритм расчета ПД невозможно. Преодолеть эту трудность можно следующим образом.

1. Проводится измерение ДП оборудования в момент t_k через интервал $\Delta t = t_k - t_p$ после окончания ремонта в момент t_p . Величина Δt выбирается исходя из двух условий. Чем Δt больше, тем больше число воздействий N и тем точнее результаты расчетов среднего износа при одном воздействии для заданного срока службы элемента. Рекомендуется Δt выбирать таким, чтобы $N_0(\Delta t) = (0,4-0,6)N_{доп}$. Обозначим множество этих ДП через $\Pi_i(t_k)$, где n - число показателей.

2. вычисляется величина износа по каждому ДП

$$Iz(\Pi_i, t_k) = \frac{\Pi_i(t_k) - \Pi_i(t_p)}{\Pi_{доп} - \Pi_0} \quad (1)$$

где Π_0 – исходное значение i -го ДП

3. определяется число единичных воздействий в течение интервала Δt_n

$$N_0(\Delta t) = \sum_{i=1}^n \frac{N_{0,i}(\Delta t)}{\xi_{1,i}} \quad (2)$$

где $N_{0,i}(\Delta t)$ – наблюдаемое за интервал число воздействий i -го типа;
 n – число однотипных воздействий;

$\xi_{1,i}$ - относительная тяжесть воздействия, равная отношению $N_{доп}$ и $N_{доп,i}$

$N_{доп,i}$ - допустимое число воздействий i -го типа

4. Вычисляется величина изменение износа на одно единичное воздействие по формуле

$$\Delta I_z(\Pi_i, t_K) = \frac{I_z(\Pi_i, t_K)}{N_0(\Delta t)} \quad (3)$$

5. Определяется расчетное значение допустимого числа единичных воздействий ($N_{доп,i}^*$)

$$N_{доп,i}^* = \frac{1}{\Delta I_z(\Pi_i, t_K)}; \quad i=1, n \quad (4)$$

6. Определяется величина остаточного ресурса по числу элементарных воздействий для каждого ДП

$$Re[N_i] = \frac{N_{доп,i} - N_0(\Delta t)}{N_{доп,i}^*} \quad (5)$$

7. Определяется остаточный ресурс оборудования исходя из условия

$$Re(N) = \min[Re(N_1), Re(N_2), \dots, Re(N_n)] \quad (6)$$

8. По формулам [2] $P(T_{доп.}) = 1 - \sum_{i=1}^n \left[\sum_{r_i=0}^{A_i} \prod_{j=1}^m P_j(r_i, T_{доп.}) \right]$ (7)

$$A_i = I \left[N_{доп,i} - \sum_{j=1}^{i-1} \frac{j \cdot \xi_{i,j}}{\xi_{1,j}} \right] \quad (8)$$

$$P_j(r_i, T_{доп.}) = \frac{(\omega_j T_{доп.})^{r_i}}{r_i!} e^{-\omega_j T_{доп.}} \quad (9)$$

ω_j - интенсивность j -го воздействия токов короткого замыкания на выключатель;

I – оператор, определяющий целую часть расчетной величины неиспользуемого ресурса, при $N_{доп} = \min(N_{доп,1}, N_{доп,2}, \dots, N_{доп,n})$ рассчитываются функция распределения $F(T_d)$, нижнее граничное значение доверительного интервала (I_d) и среднее значение T_d и среднее значение $M^*(T_d)$.

Выше были рассмотрены модели износа для случаев, когда дискретные воздействия носят случайный характер. При совместном воздействии этих потоков воздействий расчетные соотношения несколько изменяются. По сути происходит наложение потоков, а суммарный износ в каждый момент времени представляет собой сумму износов от детерминированных и случайных воздействий. Практически это отражается путем изменения аргумента распределения $F(N, t_i)$ на некоторую величину $\Delta N(t_i)$. При одинаковой тяжести единичного воздействия общих потоков

$$\Delta N(t_i) = \frac{1}{\Delta t + \Delta \tau} \left[\sum_{j=1}^{K-1} \tau_j \xi_j + \left(\sum_{j=1}^K \tau_j - t_i \right) \xi_K \right] \quad (10)$$

где $\sum_{j=1}^{K-1} \tau_j < t_i < \sum_{j=1}^K \tau_j$;

τ_i – интервал, на котором поток воздействий однороден; $\Delta \tau$ - длительность воздействия.

Иначе говоря, расчетные выражения для функции распределения $F(N, t_i)$ останутся аналогичными с той разницей, что каждому значению аргумента N в $F(N, t_i)$ будет соответствовать величина $[N + \Delta N(t_i)]$. Тот же результат оценки ПД может быть

получен, если на величину $\Delta N(t_i)$ в момент t_i будет уменьшено $N_{\text{доп}}$, зависимость которой от времени будет иметь вид

$$N_{\text{доп}}(t) = N_{\text{доп}} - \Delta N(t) \quad (11)$$

В ряде случаев число воздействий исчисляется сотнями или тысячами. При этом непосредственное применение приведенных выше формул требует выполнения громоздких и во многом ненужных вычислений. Кроме того, сам единичный износ оказывается столь малым, что оценить его известными средствами измерения практически невозможно. В этом случае целесообразно проводить расчеты для приведенного (пр) числа воздействий.

Заключение

1. Для элементов, срок службы которых превышает расчетный, проводить ремонтные работы по критерию неперевышения установленного допустимого числа единичных воздействий недопустимо.
2. Разработан алгоритм оценки показателей долговечности элементов выключателей, износ которых происходит преимущественно в результате дискретных воздействий.

1. *Фархадзаде Э.М., Абдуллаева С.А.* Модели для оценки показателей долговечности элементов электроустановок при дискретных воздействиях.

AÇARLARIN QALIQ RESURLARININ QIYMƏTLƏNDİRİLMƏSİ MODELİ

SƏFƏROVA T.X., ABDULLAYEVA S.A.

Əsasən diskret təsirlər nəticəsində aşınan açar elementlərinin uzunömürlülük göstəriciminin qiymətləndirilməsi alqoritmlərinin işlənilib hazırlanması.

MODELS FOR THE ASSESSMENT OF RESIDUAL OPERATIONAL LIFE OF CUTOUTS.

SAFAROVA T.X., ABDULLAYEVA S.A.

The algorithm of an assessment of indexes longevity of units cutouts which wear happens mainly as a result of the discrete actions is developed.