

⚡

В данной работе рассматриваются вопросы ускоренных испытаний низковольтных аппаратов (НА) на электроизносоустойчивость.

⚡

**УДК 621.316**

**В. П. Самошкин**, канд. техн. наук,  
**Я. Б. Форкун**, канд. техн. наук,  
 Харьковский национальный университет городского хозяйства им. А.Н. Бекетов

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ИЗНОСОУСТОЙЧИВОСТИ И НАДЕЖНОСТИ КОНТАКТОВ НИЗКОВОЛЬТНЫХ АППАРАТОВ**

**Введение.** Современные изделия часто обладают высокой надежностью, что требует для определения ее количественного значения больших затрат как в отношении необходимого числа изделий, так и в отношении времени, нужного для проведения испытаний. В связи с этим все более часто прибегают к ускоренным методам испытаний изделий на надежность. Существуют различные методы ускоренных испытаний. В настоящей работе используются ускоренные испытания когда используются более жесткие режимы испытаний.

В данной работе рассматриваются вопросы ускоренных испытаний низковольтных аппаратов (НА) на электроизносоустойчивость. Поскольку электрическая износоустойчивость НА определяется электроизносоустойчивостью коммутирующих контактов, рассмотрим методику ускоренных испытаний контактов.

**Изложение основного материала.** Рассмотрим вначале методику ускоренных испытаний контактов в случае внезапных отказов. Пусть при испытании контактов с номинальной нагрузкой  $\varepsilon_0$  в течение  $z$  циклов работы произошло  $n_0$  внезапных отказов типа незамыкания или сваривания контактов. Тогда вероятность безотказной работы контактов в номинальном режиме при экспоненциальном законе их распределения равна

$$P_0(\varepsilon_0) = e^{-\lambda_0(\varepsilon_0)t_0} \tag{1}$$

где

$$t_0 = z_0 [t_{(вкл)} + t_{(выкл)}]$$

В более жестком режиме при повышенной нагрузке  $\varepsilon_y$

$$P_y(\varepsilon_y) = e^{-\lambda_y(\varepsilon_y)t_y} \tag{2}$$

Соотношение между временем испытаний в ускоренном режиме  $t_y$  и временем испытаний в нормальном режиме  $t_0$  может быть определено из условия:

$$P_0(\varepsilon_0) = P_y(\varepsilon_y),$$

или

$$t_y \lambda_y(\varepsilon_y) = t_0 \lambda_0(\varepsilon_0) \tag{3}$$

Подставим в уравнение (3) значения  $\lambda_0(\varepsilon_0)$  и  $\lambda_y(\varepsilon_y)$  в случае замены отказавших в процессе испытаний контактных групп новыми, статистически равноценными (для одностороннего доверительного интервала)

$$\lambda_0(\varepsilon_0) = \chi_{1-\alpha_0}^2(2n_0)/2Nt_0 \tag{4}$$

$$\lambda_y(\varepsilon_y) = x_{1-\alpha_y}^2(2n_y)/2Nt_y \tag{5}$$

После сокращения  $N$ ,  $t_0$ ,  $t_p$  получим

$$x_{1-\alpha_0}^2(2n_0) = x_{1-\alpha_y}^2(2n_y) \tag{6}$$

Поскольку в более жестком, ускоренном режиме испытаний количество отказов  $n_y$  больше, чем в номинальном  $n_0$ , равенство (6) может выполняться лишь в том случае, когда достоверность оценки результатов испытаний  $\alpha_y$  в режиме ускоренных испытаний меньше, чем  $\alpha_0$  в нормальном режиме.

Таким образом, проведение испытаний введением более жесткого режима уменьшает достоверность полученных результатов.

Одинаковую достоверность можно получить при

$$N_y = N_0 x_{1-\alpha}^2(2n_y)/x_{1-\alpha}^2(2n_0) \tag{7}$$

В связи с этим необходимо отметить, что ускорение испытаний по времени можно получить и в нормальном режиме, если увеличить количество испытываемых контактов таким образом, чтобы объем испытаний  $N_0 t_0$  остался прежним. Поэтому в случае внезапных отказов ускорение испытаний по времени, по-видимому, целесообразно получать не за счет жесткого режима испытаний, а за счет увеличения количества испытываемых образцов в нормальном режиме.

Для НА наиболее характерными отказами контактов являются постепенные отказы вследствие их электрического износа.

Пусть распределение величины контактного усилия подчинена нормальному закону. При испытании контактов под нагрузкой их износ приближенно можно считать пропорциональным количеству циклов коммутаций. Контактное усилие  $P_k$  вследствие износа контактов уменьшается до некоторого допустимого значения  $P_{k \min}$ . Дальнейшая работа контактов невозможна вследствие возникновения так называемого постепенного отказа.

Из-за износа контактов происходит, изменение основных параметров закона распределения величины контактного усилия: математического ожидания  $m$  и дисперсии  $D$ . При испытании в более жестком, ускоренном режиме эти изменения будут более интенсивными.

Характер изменения  $m$  и  $\sigma$  в процессе испытаний контактов при различных режимах (нагрузках) работы контактов показан на рис. 1.

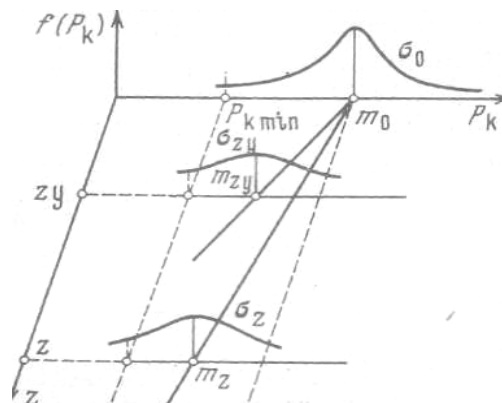


Рис. 1 – Изменение математического ожидания и дисперсии в процессе испытаний контактов при различных режимах (нагрузках) работы

На рис. 2 и 3 показан характер изменения износа контактов ( $\Delta G$  – относительное изменение веса контактов в %) в зависимости от количества циклов срабатывания и величины коммутируемого тока (1,6А на рис. 2 и 4А на рис 3). Величины износа контактов можно считать пропорциональными количеству циклов  $z$  при нормальном режиме

$$\Delta P_{ki} = a_i P_{kn} z_n \tag{8}$$

в режиме ускоренных испытаний

$$\Delta P_{k.y.i.} = a_{yi} P_{kn} z_y \tag{9}$$

где  $P_{kn}$  – номинальное контактное нажатие.

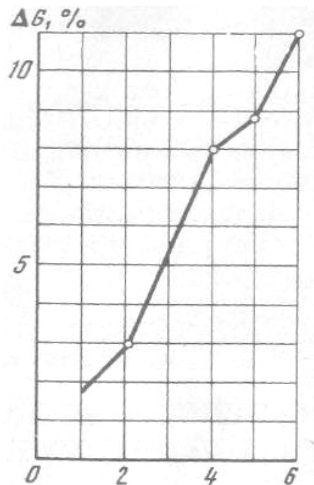


Рис. 2 – Характер износа контактов при токе отключения 1,6 А

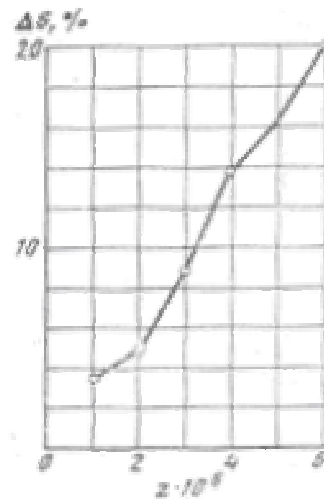


Рис. 3 – Характер износа при токе отключения 4 А

Математическое ожидание износа  $N$  контактов в номинальном режиме равно

$$M[\Delta P_{ki}] = \frac{z}{N} P_{kn} \sum_{i=1}^N a_i = A P_{kn} z \tag{10}$$

в режиме ускоренных испытаний

$$M[\Delta P_{k.y.i.}] = \frac{z_y}{N} P_{kn} \sum_{i=1}^N a_{yi} = A_y P_{kn} z_y \tag{11}$$

Из рис. 1 видно, что величина математического ожидания износа контактов после срабатывания равна:

$$m_z = m_0 - A P_{kn} z \tag{12}$$

$$m_{zy} = m_0 - A_y P_{kn} z_y \tag{13}$$

где  $m_0$  – величина математического ожидания контактного нажатия (или первоначального веса контактов) перед износными испытаниями.

Дисперсия  $D_z$  износа контактов в нормальном и ускоренном ( $D_{zy}$ ) режимах испытаний равна

$$D_z = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\Delta P_{ki} - m_z)^2 \tag{14}$$

$$D_{zy} = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\Delta P_{k.y.i.} - m_{zy})^2 \tag{15}$$

Когда износ контактов не описывается линейной зависимостью типа (8) – (11), зависимости  $\Delta P_{ki}(z)$ ,  $\Delta P_{k,yi}(z_y)$ ,  $m_z(z)$ ,  $m_{zy}(z_y)$ ,  $D_z(z)$ ,  $D_{zy}(z_y)$  могут быть определены по экспериментальным статистическим данным испытаний контактов в нормальном и ускоренном режимах.

Поскольку надежность контактов по постепенным отказам в нормальном режиме и в режиме ускоренных испытаний должна быть одинакова, можно записать

$$P(z) = 1 - \Phi\left(\frac{P_{k \min} - m_z}{\sigma_z}\right) = P_y(z_y) = 1 - \Phi\left(\frac{P_{k \min} - m_{zy}}{\sigma_{zy}}\right) \tag{16}$$

где

$$\Phi(P_k) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{P_k} e^{-\frac{1}{2}z^2} dz \quad \text{– функция Лапласа}$$

Уравнение (16) можно записать в виде

$$(P_{k \min} - m_z)/\sigma_z = (P_{k \min} - m_{zy})/\sigma_{zy} \tag{17}$$

или после подстановки значений  $m_z$ ,  $m_{zy}$ ,  $\sigma_z$ ,  $\sigma_{zy}$

$$\begin{aligned} & \frac{(P_{k \min} - m_0 + AP_{kn}z)}{\sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (a_i P_{kn}z - m_0 + AP_{kn}z)^2}} = \\ & = (P_{k \min} - m_0 + A_y P_{kn}z_y) / \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (a_{yi} P_{kn}z_y - m_0 + A_y P_{kn}z_y)^2} \end{aligned} \tag{18}$$

**Вывод.** Из этих уравнений находим  $z_y$ . Оно является функцией  $Z$ , коэффициентов  $a_i$ , определяемых экспериментально, и конструктивных параметров ( $P_{kn}$ ,  $P_{k \min}$ )

Для данного ускоренного режима испытаний зависимость является однозначной, причем тем более точной, чем больше контактов было испытано в нормальном и ускоренном режимах.

Необходимо отметить, что в рассматриваемом случае ускоренных испытаний по постепенным отказам достоверность испытаний не зависит от числа циклов работы контактов ( $z$  или  $z_y$ ), как это имеет место в случае ускоренных испытаний при внезапных отказах, а зависит лишь от количества испытанных контактов.

На рис. 4 показана зависимость  $z_y(z_0)$  для коммутируемых токов 1,6 А (примем за нормальный режим) и 4 А (ускоренный режим). Следует отметить, что при больших  $z_0$  кривые  $z_y(z_0)$  имеют малый наклон (малые производные  $dz_y/dz_0$ ), что вызывает большую погрешность в определении  $z_y$  и повышает требования к точности испытаний в ускоренном режиме. Поэтому следует выделить рабочий участок кривой  $z_y(z_0)$ , например, для кривой 1 на рис. 4 – участок  $z_0 = (8 \div 12) \cdot 10^6$ , а на кривой 2 – участок  $z_0 = (5 \div 10) \cdot 10^6$  циклов.

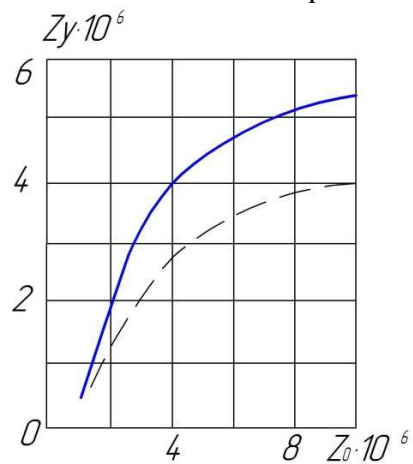


Рис. 4 – Зависимость между  $z_0$  и  $z_y$   
 1 – нормальный режим при  $I=1,6$  А;  
 2 – ускоренный режим при  $I = 4$  А.

## Литература

1. Вентцель Е.С. Теория вероятностей.-М.: «Наука», 1969г.
2. Ширяев А.Н. «Статистический последовательный анализ». Издательство «Наука»,1969г.
3. Гурман В.Е. Теория вероятностей математическая статистика – М.: Высш. шк., 2002г.
4. Жалдак М.І., Кузьміна Н.М., Берлінська С.Ю. Теорія ймовірностей і математична статистика з елементами інформаційної технології.-К.: Вища школа, 1990р.
5. Румшинский Л.З. «Математическая обработка результатов эксперимента». Издательство «Наука», 1971г Ширяев А.Н. «Статистический последовательный анализ». Издательство «Наука»,1969г.
6. Шторм Р. «Теория вероятностей. Математическая статистика. Статистический контроль качества».Перевод с немецкого под редакцией Н.С. Райбман. Издательство «Мир», 1970г.
7. Коваленко И.Н., Гнеденко Б.В. Теория вероятностей.-К.: Высш. шк.,1990г.

---



---

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЗНОСОСТІЙКОСТІ І НАДІЙНОСТІ КОНТАКТІВ  
НИЗЬКОВОЛЬТНИХ АПАРАТІВ

В. П. Самошкін, Я. Б. Форкун

*У даній роботі розглядаються питання прискорених випробувань низьковольтних апаратів (НА) на електрозносостійкість.*

RESEARCHES OF ELECTRIC WEARPROOFNESS AND RELIABILITY OF ONTACTS  
OF LOW-VOLTAGE VEHICLES

V. Samoshkin, Y. Forkyn

*In this work are examined question of speed-up tests of low-voltage vehicles (ON) on electro-wearproofness.*