

УДК 621.31

**Ф.П. ГОВОРОВ<sup>1</sup>** (д-р техн. наук, проф.), **О.В. ФЕСЕНКО<sup>2</sup>** (канд. техн. наук)<sup>1</sup> Харьковская национальная академия городского хозяйства<sup>2</sup> ООО «ПромЭнерго»[govorov\\_fp@mail.ru](mailto:govorov_fp@mail.ru)

## ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ НИЗКОВОЛЬТНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ЗАЩИТЫ И УПРАВЛЕНИЯ

Разработаны вероятностные модели и методики для расчета показателей надежности низковольтных электрических аппаратов защиты, обеспечивающие персонафицированную защиту элементов сети от токов перегрузки и на ее основе – повышение уровня электро- и пожаробезопасности систем электроснабжения.

**Ключевые слова:** электрический аппарат, надежность, пожаробезопасность, вероятностная характеристика, ток перегрузки, аппроксимация, время срабатывания, доверительный интервал, персонафикация.

Как известно, надежность действия защиты в низковольтных электрических сетях общего назначения зависит от конфигурации системы защиты, обеспечивающей необходимый уровень резервирования и надежности аппаратов защиты [1]. Применяемые в настоящее время аппараты защиты низковольтные электрические аппараты в силу своей многофункциональности должны иметь определенный комплекс показателей надежности делающих возможной их оценку по каждой из функций [2].

В настоящей статье речь идет об оценке надежности одной из функций аппаратов защиты – защиты от токов перегрузки. Важность значение указанного показателя определяется его влиянием на уровень электро- и пожаробезопасности электрифицированных объектов [3].

Надежность защиты в зоне токов перегрузки может быть оценена вероятностью срабатывания аппарата в допустимом интервале.

$$P_n(\Delta\tau) = P\left\{\tau_n\left(\frac{I}{I_B}\right) \leq t \leq \tau_B\left(\frac{I}{I_B}\right)\right\}, \quad (1)$$

где  $P_n(\Delta\tau)$  – показатель надежности функционирования аппарата защиты в зоне токов перегрузки;

$$P\left\{\tau_n\left(\frac{I}{I_B}\right) \leq t \leq \tau_B\left(\frac{I}{I_B}\right)\right\} - \text{вероятность срабатывания аппарата в допустимом интервале ограниченном}$$

нижней  $\tau_n\left(\frac{I}{I_B}\right)$  и верхней  $\tau_B\left(\frac{I}{I_B}\right)$  допустимыми границами, функционально зависящими от отношения тока

перегрузки к базовому току аппарата  $\left(\frac{I}{I_B}\right)$ ;  $t$  – время срабатывания.

Таким образом, задача оценки надежности защиты в зоне токов перегрузки сводится к определению границ допустимого интервала в пределах которого с доверительной вероятностью будет находиться количество срабатываний, соответствующее нормированному уровню надежности аппарата  $[P]_H$ .

Поставленная задача решается в два этапа. На первом этапе осуществляется аппроксимация время – токовой характеристики, полученной по результатам испытаний. На втором этапе определяется величина допустимого интервала указанного уровня доверительной вероятности и нормированного уровня надежности  $[P]_H$ .

Процедура аппроксимации сводится к определению по результатам испытаний коэффициентов  $K$  и  $\alpha$  функции, описывающей падающую время – токовую характеристику аппарата защиты:

$$t = \frac{K}{\left(\frac{I}{I_B}\right)^\alpha - 1}, \quad (2)$$

где  $K$  – постоянная, характеризующая аппарат защиты;  $\alpha$  – индекс, характеризующий алгебраическую функцию;  $I$  – ток нагрузки;  $I_B$  – базовое значение тока.

Для определения значений  $K$  и  $\alpha$  используются данные о времени срабатывания испытываемого аппарата  $t_x$  при значениях  $I/I_B$ , указанный в табл. 1.

Таблица 1 – Ряд значений  $I/I_B$  для испытаний по оценке уровня надежности

Условно принятые значения индекса $X$ при крайностях испытываемого тока $I/I_B$					
3	4	5	6	7,2	8
1	2	3	4	5	6

По формулам (2) – (4) при значениях  $\alpha=0,02; 1,0$  и  $2,0$  рассчитывается значение  $\delta K_\alpha$

$$\delta K_\alpha = \frac{K_{\alpha 1}}{K_{\alpha 6}}, \quad (3)$$

$$K_{\alpha x} = A_{\alpha x} t_x, \quad (4)$$

$$A_{\alpha x} = \left(\frac{I}{I_B}\right)_x^\alpha - 1. \quad (5)$$

где  $\delta K_\alpha$  – коэффициент, вычисляемый для принятого значения  $\alpha$  по результатам испытаний в точках

$$\left(\frac{I}{I_B}\right) = 3 - K_{\alpha 1} \text{ и } \left(\frac{I}{I_B}\right) = 8 - K_{\alpha 6}.$$

Значение  $\alpha_0$  определяется из уравнения  $\delta K_\alpha \leq 1$ .

Уменьшая величину  $\alpha_0$  с шагом  $\Delta\alpha = 0,02$  по полученному ряду  $\alpha_j$ , находим искомое значение  $[\alpha] = \alpha_j$  соответствующее равенству (7):

$$\alpha_j = \alpha_0 - j\Delta\alpha, \quad (6)$$

$$\frac{t_1 \left[ \left(\frac{I}{I_B}\right)_1^{\alpha_j} - 1 \right]}{t_6 \left[ \left(\frac{I}{I_B}\right)_6^{\alpha_j} - 1 \right]} = 1(\pm 0,1), \quad (7)$$

где  $t_1$  и  $t_6$  – экспериментально полученное время срабатывания при  $\left(\frac{I}{I_B}\right) = 3 - K_{\alpha 1}$  и  $\left(\frac{I}{I_B}\right) = 8$  ( $x = 1$  и  $x = 6$ , соответственно).

Значение  $[K] = \hat{K}\alpha = K_2$  определяется в виде:

$$\hat{K}_\alpha = \frac{1}{6} \sum_{x=1}^6 K_{\alpha x}. \quad (8)$$

По значениям  $[\alpha]$  и  $[K]$  получаем аппроксимирующую функцию времени срабатывания конкретного аппарата, как ее средний уровень  $t_{cp} \left(\frac{I}{I_B}\right)$ :

$$t_{cp} = \frac{[K]}{\left(\frac{I}{I_B}\right)^{[\alpha]} - 1}. \quad (9)$$

Для получения доверительных границ времени срабатывания аппарата определяется отношение времени срабатывания, вычисленное по (9), и полученное по результатам испытаний :

$$\delta t_x = \frac{t_{cp \cdot x}}{t_x}, \quad (10)$$

где  $t_{cp \cdot x}$ ,  $t_x$  – время срабатывания, рассчитанное по (9) и полученное по результатам испытаний, соответственно.

По (11) и (12) определяется среднее значение для  $\delta t_x$  и среднее квадратическое отклонение  $S\delta$

$$\delta \hat{t} = \frac{1}{n} \sum_{x=1}^n \frac{\delta t_x}{n}, \quad (11)$$

$$S\delta = \sqrt{\frac{(\delta \hat{t} - \delta t_x)^2}{n-1}}, \quad (12)$$

где  $S\delta$  – среднеквадратичное отклонение величины  $\delta t_x$  от ее среднего значения  $\delta \hat{t}$ .

На основании полученных значений  $\delta \hat{t}$ ,  $S\delta$  и аппроксимирующей функции по формулам (13) и (14) могут быть получены соответственно верхний  $\tau_B$  и нижний  $\tau_n$  уровни времени срабатывания аппарата в зоне токов перегрузки:

$$\tau_B = (\delta \hat{t} + kS\delta) \frac{[K]}{\left(\frac{I}{I_B}\right)^{[\alpha]} - 1}, \quad (13)$$

$$\tau_n = (\delta \hat{t} - kS\delta) \frac{[K]}{\left(\frac{I}{I_B}\right)^{[\alpha]} - 1}, \quad (14)$$

где  $k$  – коэффициент, уровень которого определяется принятой доверительной вероятности  $\gamma$  и нормой показателя надежности  $[P]$  (табл.2).

Таблица 2 – Значение  $k$  при  $\square=0,95$ ,  $[P]=0,95$  и числе опытов  $n$

$n$	$k$
6	4,41
12	3,16
24	2,65

Таким образом, использование значений  $k$ , приведенных в табл. 2, позволяет получить значение параметров и границы допустимого интервала, обеспечивающего надежность защиты с вероятностью  $[P]=0,95$  или  $0,99$ , соответственно.

Ниже приводится пример применения разработанной методики аппроксимации.

Таблица 3 – Результаты испытаний теплового реле RSTM с диапазоном установки  $0,1 - 0,16$  А

Параметры	Численные значения параметров					
	1	2	3	4	5	6
$I/I_B$	3	4	5	6	7,2	8
$I_x, A$	0,3	0,4	0,5	0,6	0,72	0,8
$t_x, сек$	23,8	14,5	10,5	8,3	6,8	5,5

Таблица 4 – Результаты определения  $[\alpha]$

$\alpha$	$x$	$I/I_B$	$A_{ax}$	$K_{ax}$	$\delta K_\alpha$	$t_x[(I/I_B)_x^\alpha - 1]$	$z$
0,02	1	3	0,0222	0,529	2,26	-	-
	6	8	0,0425	0,234			
1,0	1	3	2	47,6	1,24	-	-
	6	8	7	38,5			
2,0	1	3	8	190,4	0,55	-	-
	6	8	63	346,5			
1,28	1	3	-	-	-	73,3	1,0007
	6	8	-	-		73,26	

Для рассмотренных условий  $[\alpha]=1,28$

Таблица 5 – Результаты определения  $[K]$

Параметры	Численные значения параметров					
	1	2	3	4	5	6
$x$	1	2	3	4	5	6
$A_{ax}$	3,08	4,9	6,85	8,91	11,5	13,3
$K_{ax}$	73,3	71,05	71,925	73,95	78,29	73,15
$[K]$				73,6		

По результатам расчета аппроксимирующая функция имеет вид:

$$t_{cp} = \frac{73,6}{\left(\frac{I}{I_B}\right)^{1,28} - 1}$$

Таблица 6 – Результаты определения  $\delta\hat{t}$ ,  $S\delta$ ,  $\tau_B$  и  $\tau_H$  при  $[P] = 0,99$

x	$t_{cp,x}$	$t_x$	$\delta t_x$	$\delta\hat{t}$	$S\delta$	$\tau_H$	$\tau_B$
1	23,89	23,8	1,0039	1,0013	0,0319	22,0	25,9
2	15,029	14,5	1,0365			13,8	16,3
3	10,75	10,5	1,024			9,89	11,65
4	8,26	8,3	0,995			7,67	8,95
5	6,39	6,8	0,944			5,88	7,37
6	5,53	5,55	1,0046			5,09	6,0

$$\tau_H = 0,92 \frac{73,6}{\left(\frac{I}{I_B}\right)^{1,28} - 1}$$

$$\tau_B = 1,084 \frac{73,6}{\left(\frac{I}{I_B}\right)^{1,28} - 1}$$

Таким образом, разработанный показатель является персонифицированным показателем надежности защитного аппарата, т.к. определен персонально для конкретного из них.

Результаты приведенных расчетов свидетельствуют о достоверности разработанной методики его вычисления.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Слобакин А.Х. Новые системы защиты от напряжений в электроустановках зданий / А.Х. Слобакин // Промышленная энергетика. - 1999. - №7. – С. 24-27.
2. Карякин Р.Н. Концепция электробезопасности электроустановок / Р.Н. Карякин // Промышленная энергетика. – 1998. - №5. – С. 15-19.
3. Ковалев А.П. Оценка степени риска поражения человека электрическим током при эксплуатации оборудования в подземных выработках угольных шахт / А.П. Ковалев // Промышленная энергетика. – 1992. - №2. – С. 25-27.

#### REFERENCES

1. Slobakin A.H. New protection system voltages in electrical installations of buildings. *Promyshlennaya energetika* [Industrial Energy]. - 1999. - № 7. - P. 24-27.
- [2] Karjakin R.N The concept of electrical safety of electrical. *Promyshlennaya energetika* [Industrial Energy]. - 1998. - № 5. - P. 15-19.
- [3] Kovalev AP Risk assessment electric shock to persons in the operation of equipment in underground coal mines. *Promyshlennaya energetika* [Industrial Energy]. - 1992. - № 2. - P. 25-27.

Надійшла до редакції 03.02.2013

Рецензент: О.П. Ковальов

П.П. ГОВОРОВ<sup>1</sup>, О.В. ФЕСЕНКО<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Харківська національна академія міського господарства

<sup>2</sup>ООО «Променерго»

**Підвищення надійності роботи низьковольтних електричних апаратів захисту і управління.** Розроблені імовірнісні моделі та методики для розрахунку показників надійності низьковольтних електричних апаратів захисту, що забезпечують персоніфіковану захист елементів мережі від струмів перевантаження і на її основі - підвищення рівня електро- та пожежебезпеки систем електропостачання.

**Ключові слова:** електричний апарат, надійність, пожежебезпека, імовірнісна характеристика, струм перевантаження, апроксимація, час спрацьовування, довірчий інтервал, персоніфікація.

F. GOVOROV<sup>1</sup>, O. FESENKO<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Kharkov National Academy of Municipal Economy

<sup>2</sup> «PromEnergo» Ltd.

**Improving Reliability of Electrical Work Low-Voltage Apparatus Protection and Control.** Reliability of protection in low-voltage power grids general depends on the configuration of the protection system, which provides the necessary level of redundancy and reliability of the protection devices. Implemented to protect the currently low-voltage electrical equipment due to its multifunctionality must have a certain set of reliability, evaluated each of the functions. This article refers to assessing the reliability of one of the important functions of protective devices - over-current protection. Of the value of this indicator is determined by its effect on the level of electrical and fire safety of electrified objects. Thus, the task of assessing the reliability of protection in the area of overload is reduced to the determination of the limits of its range within which a confidence level will be the number of operations corresponding to a normalized level of reliability. The problem is solved in two stages. At the first stage, the approximation of the time - current characteristic obtained from test results. At the second stage, the value of the tolerance interval specified confidence level and the normalized level of reliability.

**Key words:** *electrical apparatus, safety, fire safety, probabilistic characterization, current overload, approximation, the response time, the confidence interval, the personification.*