

## ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ СРОКОВ ДИАГНОСТИКИ СИЛОВЫХ КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НИЗКОВОЛЬТНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

**Ковалев А.П., проф., д.т.н.; Соленая О.Я., аспирант; Стопник А.Е., студент**  
(ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, Украина)

**Актуальность вопроса.** По данным МЧС Украины за период с 2002 по 2011 гг. от электротехнических причин в жилом секторе в сетях до 1 кВ произошло 123169 пожаров, материальный ущерб от которых составил свыше 1638 тыс. гр. В это число пожаров входят и те, которые происходили в сетях 0,38 кВ из-за нагрева силовых контактных соединений (розетки, выключатели, вводные щиты и т.д.). Пожар в квартирах от случайного появления ослабленного и опасно искрящего контактного соединения может произойти из-за увеличения с течением времени переходного сопротивления между контактирующими поверхностями. Количество тепла, которое выделяется в контактном соединении, зависит от его конструкции и частоты обработки контактирующих поверхностей [1].

Интенсивное выделение тепла в электрическом контактном соединении ведет к нагреву изоляции проводника, на котором может находиться пожароопасная пыль и при достижении температуры самовоспламенения пыль загорается.

Для обеспечения надежной работы контактных соединений, предотвращения перегрева, окисления, деформации (старения), необходимо своевременно производить проверку их состояния.

Поэтому задача, связанная с определением оптимальных с точки зрения пожарной безопасности сроков диагностики силовых электрических контактных соединений является актуальной.

**Цель работы.** Разработать математическую модель для оценки оптимальных с точки зрения пожарной безопасности сроков диагностики силовых контактных соединений (СКС).

**Результаты исследования.** Под безопасным состоянием СКС будем понимать такое состояние, при котором температура их нагрева рабочими токами находится в допустимых пределах.

Для определения интервала времени между диагностикой контактного соединения примем ряд допущений:

- время нахождения СКС в опасном состоянии можно определить только в результате диагностики;
- диагностика абсолютно надежна;
- длительность диагностики  $\theta \ll \tau$  (где  $\tau$  - интервал времени между последующими диагностическими проверками СКС).

Обозначим через  $\xi(t)$  процесс изменения состояния СКС. Предположим, что  $\xi(t)$  принимает соответственно два значения: 0 и 1, где 0 – безопасное состояние СКС; 1 – опасное состояние СКС (искрит, нагрето до недопустимой температуры).

Рассмотрим  $\xi(t)$  как случайную функцию, которая имеет следующий характер изменения во времени. Существуют чередующиеся отрезки времени

$$\xi_0^{(0)}, \xi_1^{(0)}, \dots, \xi_i^{(0)}, \dots, \xi_n^{(0)},$$

на которых  $\xi(t) = 0$  и отрезки  $\xi_1^{(1)}, \dots, \xi_i^{(1)}, \dots, \xi_m^{(1)}$ , на которых  $\xi(t) = 1$ .

Для СКС промежутки  $\xi_i^{(0)}$  являются безопасными, а  $\xi_i^{(1)}$  - опасными (рис. 1).

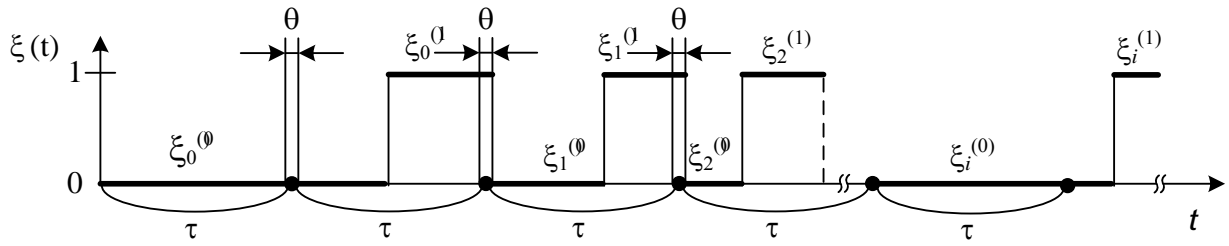


Рисунок 1 – Случайный процесс изменения состояния СКС

Пусть  $\xi_i^{(0)}$  имеют одно и то же распределение:

$$F(t) = P(\xi_i^{(0)} < t) = 1 - \exp(-\lambda t). \quad (1)$$

Все величины  $\xi_i^{(0)}$  и  $\xi_i^{(1)}$  взаимонезависимые [2].

Рассмотрим поведение СКС между проверками. В момент  $t$  с вероятностью  $P(t) = \exp(-\lambda t)$  СКС будет находиться в безопасном состоянии, а с вероятностью  $F(t) = 1 - \exp(-\lambda t)$  – в опасном.

Среднее время безопасного состояния СКС в интервале  $(0, \tau)$ :

$$T = \int_0^{\tau} [1 - F(t)] dt. \quad (2)$$

Обозначим через  $K(\tau)$  отношение  $(\tau + \theta) / T$ .

Среднее время нахождения СКС в необнаруженном отказавшем состоянии окажется минимальным в том случае, когда  $K(\tau)$  принимает минимальное значение:

$$\min_{\tau} K(\tau) = \min_{\tau} \frac{\tau + \theta}{T} = \min_{\tau} \frac{\tau + \theta}{\int_0^{\tau} \exp(-\lambda t) dt}. \quad (3)$$

Дифференцируя выражение (3) по  $\tau$  и приравнявая производную нулю, получаем уравнение вида:

$$\exp(-\lambda \tau) - 1 - \tau \lambda - \lambda \theta = 0. \quad (4)$$

Для СКС низковольтных электрических сетей всегда выполняется условие [3]:

$$\lambda \tau < 0,1.$$

Разложим экспоненциальную функцию  $\exp(-\lambda \tau)$  в ряд Маклорена в окрестности точки  $\tau = 0$ . Подставив три первых члена разложения в уравнение (4) и решив его относительно  $\tau$ , получим:

$$\tau = \sqrt{\frac{2\theta}{\lambda}}. \quad (5)$$

Подставляя вместо  $\lambda$  значение, выраженное через число выхода из строя СКС  $n$  (за время наблюдения  $t$ ) и общее число СКС  $N$ , за которыми было установлено наблюдение, преобразуем формулу (5) в следующий вид:

$$\tau = \sqrt{\frac{2\theta N t}{n}}. \quad (6)$$

Используя формулу (2) при заданном интервале времени между проверками  $\tau_0$  можно определить среднее время  $d$  нахождения СКС в необнаруженном отказавшем состоянии:

$$d = \tau_0 - T = \tau_0 - \int_0^{\tau_0} \exp(-\lambda t) dt = \tau_0 - \frac{1}{\lambda} [1 - \exp(-\lambda \tau_0)]. \quad (7)$$

В случаях, когда  $\lambda \tau_0 < 0,1$ , формула (7) имеет вид:

$$d = \frac{\tau_0^2 \lambda}{2}. \quad (8)$$

Если интервал времени между проверками СКС выбирать используя формулу (5), т.е. считать, что  $\tau_0 = \tau$ , то значение  $d$  будет минимальным. Подставив значение  $\tau$ , полученное из формулы (5) в формулу (8), получим:

$$d = \theta.$$

**Пример.** Под наблюдением по плану [NMT] в течение времени  $T = 1$  год находилось  $N = 2200$  силовых контактных соединений в системе электроснабжения 100-квартирного дома. За это время в системе электроснабжения квартир вышло из строя  $n = 15$  контактных соединений (сопротивление контактов увеличилось в 3 раза). Длительность одной проверки  $\theta = 1$  час. Определить, через сколько времени необходимо проверять состояние силового контактного соединения, чтобы время нахождения контакта в дефектном состоянии было минимальным.

Решение.

$$\tau = \sqrt{\frac{2 \cdot 1 \cdot 2200 \cdot 8760}{15}} = 1603 \text{ ч.}$$

Таким образом, для того, чтобы после отказа силового электрического контактного соединения время его нахождения в опасном (отказавшем) состоянии было минимальным, достаточно производить их диагностику для данного примера путем контроля температуры нагрева каждые 1600 ч., т.е. приблизительно 5 раз в год.

#### Перечень ссылок

1. Смелков Г.И. Пожарная безопасность электропроводок / Г.И. Смелков. – М: Кабель, 2009. – 328 с.
2. Тихонов В.И. Марковские процессы / В.И. Тихонов, М.А. Миронов. – М.: Сов. радио, 1977. – 486 с.
3. Ковалев А.П., Шевченко А.В., Муха В.П., Белоусенко И.В. О выборе сроков профилактики автоматических средств защиты // Промышленная энергетика № 2, 1994. - С. 9-10.