УДК 614.841.345

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЖАРА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ШАХТНЫХ КАБЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Чурсинова А.А.
Донецкий государственный технический университет.
olga@elf.dgtu.donetsk.ua

The mathematical model explaining process of formation of fires at operation of an electric equipment, distinguished from known themes based Markov's casual processes is offered, that except for probability of fires from a source of an electrical origin, the average time up to the first fire, dispersion of this time and probability of system being in each of possible condition is defined. The approached formula for definition of frequency of fires is offered.

Пожар, который случайно может произойти в кабельных сетях угольных шахт- это сложное событие. Его можно представить как случайный процесс совпадения в пространстве и времени конечного числа независимых случайных событий. Имеющих различную частоту их появления и длительность существования. [1].

Анализ пожаров в угольных шахтах Украины, проведенный за период 1990-2000г. показал, что максимальное число событий, участвующих в формировании пожара равно шести. Например, при коротком замыкании (КЗ) в комбайновом кабеле, пожар произойдет при совпадении следующих опасных событий: подано напряжения на комбайновый кабель; отказала в срабатывании максимальная токовая защита (МТЗ) в пускателе; отказала в срабатывании МТЗ группового автоматического выключателя; отказала в срабатывании МТЗ автоматического выключателя трансформаторной подстанции; отказало в срабатывании реле утечки; произошло КЗ в кабеле.

Рассмотрим систему, состоящую из шести элементов $\lambda_1, \lambda_2, ..., \lambda_6$. Пусть состояние каждого из них описывается случайным марковским процессом $\lambda_k(t), k = \overline{1,6}$, с двумя состояниями: 0-безопасное, 1-опасное. Обозначим через λ_k и μ_k параметры рассматриваемых процессов.

Величина λ_k характеризует интенсивность или скорость с которой безопасные промежутки времени сменяются на опасные, а μ_k - частоту или скорость смены опасных промежутков времени на безопасные. Параметры λ_k и μ_k определяются при обработке статистических данных.

Пожар наступает в момент случайной встречи рассматриваемых процессов $x_k(t)$ в состоянии 1, т.е. когда $x_1(t)=1$; $x_2(t)=1$; $x_3(t)=1$; $x_4(t)=1$; $x_5(t)=1$; $x_6(t)=1$.

Задача состоит в том, чтобы зная параметры процессов λ_1,μ_1; λ_2,μ_2; λ_3,μ_3; λ_4,μ_4; λ_5,μ_5; λ_6,μ_6, определить среднее время до первого пожара τ_1, дисперсию этого времени σ_1^2, зависимости вероятности нахождения системы в каждом из возможных состояний $P_i(t)$, $i=\overline{1,64}$ и функцию распределения интервалов времени до первого пожара $F_1(t)$, при условии, что в начале процесса все элементы системы находились в безопасном состоянии.

Для решения поставленной задачи выразим значения $\tau_1, \sigma_1^2, F_1(t)$ через параметры известных процессов $x_1(t)$, $x_2(t)$, $x_3(t)$, $x_4(t)$, $x_5(t)$, $x_6(t)$.

Для этого совокупность этих процессов рассмотрим как процесс Маркова $x(t)$ с $2^6 = 64$ дискретными состояниями и непрерывным временем.

Система в любой момент времени t может находиться в одном из конечного множества состояний:
$E\{e_1(0,0,0,0,0,0), e_2(1,0,0,0,0,0), ..., e_{64}(1,1,1,1,1,1)\}$

При случайном попадании системы в состояние $e_{64}(1,1,1,1,1,1)$ происходит пожар в элементе кабельной линии.

Этот процесс полностью описывается матрицей интенсивностей переходов (1).

$$
P_6 = \left(\begin{array}{c|c|c|c}
 & \begin{matrix} \lambda_6 & & & 0 \\ & \lambda_6 & & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & \lambda_6 \end{matrix} & \begin{matrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ \lambda_2 \\ \lambda_1 \\ \lambda_3 \\ \lambda_4 \\ \lambda_5 \end{matrix} & \begin{matrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ 0 \end{matrix} \\
Q_5 & & & \\
\hline
\begin{matrix} \mu_6 & & & 0 \\ & \mu_6 & & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & \mu_6 \end{matrix} & Q_5^{1} & \begin{matrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ \lambda_2 \\ \lambda_1 \\ \lambda_3 \\ \lambda_4 \\ 0 \end{matrix} & \begin{matrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \lambda_5 \end{matrix} \\
\hline
0\ 0 \ldots 0\ \mu_2\ \mu_1\ \mu_3\ \mu_4\ \mu_5 & 0\ 0 \ldots\ldots 0 & \alpha_{63} & \lambda_6 \\
\hline
0\ 0 \ldots\ldots 0 & 0\ 0 \ldots\ldots 0 & 0 & 1
\end{array}\right) \qquad (1)
$$

Все искомые параметры процесса найдем из системы уравнений, записанной в матричной форме [2]:

$$\dot{P}(t) = P(t) \cdot A\,, \qquad (2)$$

решаемой при начальных условиях:

$$P_0(0) = 1, \quad P_1(0) = 0, \quad P_2(0) = 0, \quad \ldots, \quad P_{63}(0) = 0$$

Значения τ_1, σ_1^2 находятся из системы уравнений:

$$\tau = (I - Q)^{-1}\xi\,, \qquad (3)$$

$$\sigma^2 = (2N - I)\tau - \tau_{sq}\,, \qquad (4)$$

где:

$A = (P - I)$;

$\dot{P}(t) = \left[\dot{P}_i(t)\right]$; $P(t) = \left[P_i(t)\right]$; $i = \overline{1,64}$ - вектора-строки

$N = (I - Q)^{-1}$ - фундаментальная матрица;

Q - получается из матрицы интенсивностей переходов (1) исключением из нее поглощающего состояния (последней строки и последнего столбца);

ξ - вектор –столбец, у которого все элементы равны 1.

$\tau = [\tau_i]$, $\sigma = [\sigma_i]$, $\tau_{sq} = [\tau_{sq}]$, $i = \overline{1,63}$ - вектора столбцы.

При выполнении условия:

$$\tau_1 \approx \sigma_1\,, \qquad (5)$$

функцию распределения интервалов времени до первого пожара, если в начальный момент все элементы, входящие в систему будут находиться в безопасном состоянии, можно определить по следующей формуле:

$$F_1(t) = 1 - \exp\left\{-\left(\frac{t}{\tau_1}\right)\right\}\,, \qquad (6)$$

а интенсивность пожара:

$$H = \frac{1}{\tau_1}\,. \qquad (7)$$

В общем случае, когда условие (5) не выполняется, то $F_1(t)$ находится следующим образом:

$$F_1(t) = 1 - \sum_{i=1}^{63} P_i(t), \tag{8}$$

где $P_i(t)$ находится из решения системы уравнений (2) известными методами.

Если выполняется условие (5) и кроме этого $\overline{d_k} >> d_k$ и $d_6 << d_k$ $k = \overline{1,5}$, то, обозначив $\overline{d_k} = \frac{1}{\lambda_k}$;

$d_k = \frac{1}{\mu_k}$, где $\overline{d_k}$, d_k- средние интервалы времени нахождения *i*-го элемента в безопасном и опасном состоянии соответственно, интенсивность пожаров можно определить из формулы:

$$H \approx \frac{d_1 d_2 d_3 d_4 d_5}{\overline{d}_1 \overline{d}_2 \overline{d}_3 \overline{d}_4 \overline{d}_5 \overline{d}_6}. \tag{9}$$

В том случае, если заданы интервалы времени между проверками средств защиты $\Theta_2, \Theta_3, \Theta_4, \Theta_5$, тогда среднее время нахождения их в необнаруженном опасном (отказавшем) состоянии d_2, d_3, d_4, d_5 найдем, пользуясь формулой [3]:

$$d_k = \Theta_k - \overline{d}_k \left(1 - e^{\left(-\frac{\Theta_k}{d_k} \right)} \right) \tag{10}$$

В тех случаях, когда $\frac{\Theta_k}{d_k} < 0{,}1$; формула (10) примет вид:

$$d_k \approx \frac{\Theta_k^2}{2 \cdot \overline{d}_k}. \tag{11}$$

Подставляя формулу (11) в формулу (9) H можно представить следующим образом:

$$H_0 \approx \frac{d_1 \prod_{k=2}^{5} \Theta_k^2}{16 \overline{d}_1 d_6 \prod_{k=2}^{5} \left(\overline{d}_k \right)^2}. \tag{12}$$

Вывод. Системы уравнений (2), (3), (4), матриц (1) и формулы (9)-(12) позволяют прогнозировать уровень пожарной безопасности элементов кабельной сети.

Автор благодарит научного руководителя доктора технических наук, профессора Ковалева Александра Петровича за постановку задачи.

ЛИТЕРАТУРА.

1. Ковалев А.П. О пожарной безопасности шахтных кабельных систем электроснабжения.- Промышленная энергетика,- 1991 № 9 с.12-14.

2. Ковалев А.П. О проблемах оценки безопасности электротехнических объектов// Электричество.- 1991.-№8 с.50-55.

3. Ковалев А.П., Шевченко А.В., Белоусенко И.В. Оценка пожарной безопасности передвижных трансформаторных подстанций 110/35/6кВ.// Промышленная энергетика.-1991.-№6 с.28-31.