

## ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ ПОЯВЛЕНИЯ ВЗРЫВОВ ПЫЛЕВОЗДУШНОЙ СМЕСИ ЭЛЕВАТОРОВ

Шевченко О. А., Тулько Л. А.

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

*The new mathematical model is offered which allows to receive new dependence: probability of explosions occurrence from frequency and duration of dangerous explosive environment occurrence, from maximal current protection reliability and term of its preventive maintenance, and also from circuit currents occurrence frequency and duration of their existence. The example of calculations is given.*

Зарубежные источники сообщают, что из анализа 1120 взрывов пылевоздушной смеси 540 произошло при работе с зерном, мукой, сахаром и другими сыпучими продуктами. По данным страховых компаний в ФРГ в среднем происходит один взрыв в день [1].

Основными причинами инициирования взрывов пылевоздушной смеси послужили короткие замыкания (КЗ) в электропроводках и электрооборудовании при нарушенной взрывозащите.

Отключение токов КЗ основной защитой (МТЗ) за время не более чем 0,12-0,2 сек. не позволяет воспламениться случайно образовавшейся взрывоопасной пылевоздушной среде. В случае отказа основной защиты, резервная отключает поврежденный участок сети за время 0,62-0,7 сек. Это время достаточное для воспламенения взрывоопасной пылевоздушной среды.

Следовательно, можно предположить, что взрыв на элеваторе (в рабочей башне) происходит при случайном совмещении в пространстве и времени следующих случайных событий: образование взрывоопасной пылевоздушной среды; КЗ в элементе кабельной сети, питающей потребителя, расположенные в рабочей башне; отказ в срабатывании ближайшего к месту КЗ коммутационного аппарата.

Состояние пылевоздушной смеси представим с помощью марковского случайного процесса -  $\xi_1(t)$ , который имеет два состояния: 0 – концентрация пылевоздушной смеси безопасная и 1 – концентрация пылевоздушной смеси опасная, т. е. при времени действия источника электрической дуги более 0,2 сек. возможно возгорание смеси. Частоту переходов из безопасного состояний в опасное обозначим через  $\lambda_1$ , а из опасного в безопасное  $\mu_1$ .

Состояние защитного коммутационного аппарата представим -  $\xi_2(t)$ , где 0 – безопасное (система защиты исправна и готова действовать при случайном появлении короткого замыкания в зоне ее действия); 1 – система защиты находится в отказавшем состоянии.

Обозначим частоту переходов из безопасного состояния в опасное через  $\lambda_2$ , а из опасного в безопасное -  $\mu_2$ .

Аналогичной функцией  $\xi_3(t)$  можно описать поведение во времени кабельной сети, питающей потребителя рассматриваемого цеха, 0 – безопасное состояние сети (интервалы времени между смежными короткими замыканиями в ней) и 1 - время срабатывания ближайшего к месту короткого замыкания защитного коммутационного аппарата без выдержки времени, через который прошел сквозной ток КЗ.

Частоту переходов из безопасного состояния в опасное обозначим через  $\lambda_3$ , а из опасного в безопасное -  $\mu_3$ .

Взрыв в рабочей башне элеватора происходит при случайной встрече в пространстве и времени трех процессов, т. е., когда  $\xi_1(t) = 1$ ,  $\xi_2(t) = 1$ ,  $\xi_3(t) = 1$ .

Совокупность процессов  $\xi_1(t)$ ,  $\xi_2(t)$ ,  $\xi_3(t)$  рассмотрим как однородный марковский процесс  $\xi(t)$  с восьмью дискретными состояниями и непрерывным временем. [2]

Среднее время  $\tau_k$ ,  $k = \overline{1,7}$  до первого взрыва в рабочей башне находится из системы алгебраических уравнений.

$$\left. \begin{aligned} (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3)\tau_1 - \lambda_1\tau_2 - \lambda_2\tau_3 - \lambda_3\tau_4 &= 1 \\ -\mu_1\tau_1 + (\mu_1 + \lambda_2 + \lambda_3)\tau_2 - \lambda_2\tau_7 - \lambda_3\tau_5 &= 1 \\ -\mu_2\tau_1 + (\lambda_1 + \mu_2 + \lambda_3)\tau_3 - \lambda_1\tau_7 - \lambda_3\tau_6 &= 1 \\ -\mu_3\tau_1 + (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_3)\tau_4 - \lambda_1\tau_5 - \lambda_2\tau_6 &= 1 \\ -\mu_3\tau_2 - \mu_1\tau_4 + (\mu_1 + \lambda_2 + \mu_3)\tau_5 &= 1 \\ -\mu_3\tau_3 - \mu_2\tau_4 + (\lambda_1 + \mu_2 + \mu_3)\tau_6 &= 1 \\ -\mu_2\tau_2 - \mu_1\tau_3 + (\mu_1 + \mu_2 + \lambda_3)\tau_7 &= 1 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

В тех случаях, когда  $\frac{\lambda_i}{\mu_i} \leq 0,01, i = \overline{1,3}$ , тогда из системы (1) находим  $\tau_1$  - среднее время до первого взрыва, если в начальный момент времени все элементы системы находились в безопасном состоянии.

$$\tau_1 \cong \frac{\mu_1\mu_2\mu_3}{\lambda_1\lambda_2\lambda_3(\mu_1 + \mu_2 + \mu_3)}, \quad (2)$$

$$\text{где } \mu_i = \frac{1}{d_i}, \quad (3)$$

$$\lambda_i = \frac{1}{\bar{d}_i}, i = \overline{1,3}. \quad (4)$$

$\bar{d}_1, d_1$  - средний интервал времени между появлениями взрывоопасной концентрации пыли и средняя длительность ее нахождения в рабочей башне соответственно;

$\bar{d}_2, d_2$  - средний интервал времени между отказами защитного коммутационного аппарата и средняя длительность нахождения его в необнаруженном отказавшем состоянии соответственно;

$\bar{d}_3, d_3$  - средний интервал времени между появлениями токов короткого замыкания в сети и длительность его существования (среднее время срабатывания защиты).

В практических случаях всегда соблюдается следующее соотношение:  $d_1 \gg d_3$  и  $d_2 \gg d_3$ , тогда формулу (2) можно представить в виде

$$\tau_1 \cong \frac{\mu_1\mu_2}{\lambda_1\lambda_2\lambda_3}. \quad (5)$$

В случае, если заданы интервал времени между проверками состояния пылевоздушной смеси в цехе  $\Theta_1$  и интервал времени между проверками системы отключения коммутационных аппаратов  $\Theta_2$ , тогда  $\mu_1$  и  $\mu_2$  можно найти из формулы [3]

$$\frac{1}{\mu_j} = \Theta_j - \frac{1}{\lambda_j} [1 - \exp(-\lambda_j \Theta_j)], j = \overline{1,2}. \quad (6)$$

При выполнении условий  $\lambda_j \Theta_j < 0,1$  из формулы (6) находим:

$$\mu_1 = \frac{2}{\Theta_1^2 \lambda_1}, \quad (7)$$

$$\mu_2 = \frac{2}{\Theta_2^2 \lambda_2}. \quad (8)$$

Подставляя формулы (7) и (8) в формулу (5) находим

$$\tau_1 \cong \frac{4}{\lambda_1^2 \lambda_2^2 \lambda_3 \Theta_1^2 \Theta_2^2}. \quad (9)$$

Интенсивность взрывов в цехе можно определить следующим образом

$$H_1 = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{H(T)}{T} = \frac{1}{\tau_1}. \quad (10)$$

Вероятность взрывов в цехе за время  $t$

$$Q(t) = 1 - \exp(-H_1 t). \quad (11)$$

Пример 1. Для оценки взрывобезопасности помещения рабочей башни одного из элеваторов были получены следующие исходные данные для расчета:  $\bar{d}_1=780$  ч,  $\Theta_1=12$  ч,  $\bar{d}_2=18200$  ч,  $\Theta_2=2160$  ч,  $\bar{d}_3=6240$  ч,  $d_3 = 0,00033$  ч.

Определить вероятность взрыва в рабочей башне элеватора в течение года а) используя систему уравнений (1) и формулы (6) и (11); б) используя приближенную формулу (9). Сравнить полученный результат расчетов по пункту а) с нормируемой величиной  $Q_0(t) = 1 \cdot 10^{-6}$ , где  $t=8760$  ч.

Используя исходные данные примера определяем  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$  и  $\mu_3$ :

$$\lambda_1 = \frac{1}{780} = 1,28 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1};$$

$$\lambda_2 = \frac{1}{18200} = 5,5 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1};$$

$$\lambda_3 = \frac{1}{6240} = 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1};$$

$$\mu_3 = \frac{1}{0,00033} = 3000 \text{ ч}^{-1}.$$

Используя формулу (6) находим

$$\mu_1 = 10,87 \text{ ч}^{-1};$$

$$\mu_2 = 0,0081 \text{ ч}^{-1}.$$

Используя значения для  $\lambda_i$  и  $\mu_i$ , систему уравнений (1), формулу (11) находим вероятность взрыва в помещении рабочей башне элеватора  $Q(8760) = 1,12 \cdot 10^{-6}$ . Сравнение полученного результата с нормируемым говорит, что в данных условиях взрывобезопасность помещения не обеспечивается.

Пример 2. Использовать исходные данные примера 1 и ответить на следующий вопрос. Через сколько времени необходимо проверять системы отключения коммутационных аппаратов  $\Theta_2$ , чтобы обеспечивался нормируемый уровень взрывобезопасности ( $H = 1,14 \cdot 10^{-10} \text{ ч}^{-1}$ ) а) используя систему уравнений (1), формулы (6) и (10); б) используя приближенную формулу (9).

Используя исходные данные примера 1, систему уравнений (1), формулы (6) и (10) находим  $\Theta_2 = 2056,08$  ч.

Используя формулу (9), (10) и (11) получим формулу для определения приближенного значения срока профилактики системы отключения коммутационных аппаратов, при котором обеспечивается нормируемый уровень взрывобезопасности, т. е.

$$\Theta_2^* \cong \frac{2}{\lambda_1 \lambda_2 \Theta_1} \sqrt{\frac{H_1}{\lambda_3}} = \frac{2 \cdot 10^8}{1,28 \cdot 5,5 \cdot 12} \sqrt{\frac{1,14 \cdot 10^{-10}}{1,6 \cdot 10^{-4}}} = 1998,34 \text{ ч.}$$

#### ЛИТЕРАТУРА

1. М. В. Бесчастнов. Промышленные взрывы, оценка и предупреждение. – М.: Химия, 1991. – 432 с.
2. Дж. Сандлер. Техника надежности систем. – М.: Наука, 1966. – 300 с.
3. А. П. Ковалев. О проблемах оценки безопасности электротехнических объектов //Электричество. – 1991, №8. – С.50-55.