

И.И. Лехтман

Донецкий национальный технический университет

*Обґрунтовано ефективність застосування газового захисту з дією його на відключення подачі газу в квартиру для забезпечення її вибухобезпеки.*

На современном этапе развития и эксплуатации газифицированного жилищного комплекса в Украине только за период 2005-2008 годов, произошло 36 взрывов бытового газа. В 2006 году от взрывов бытового газа погибло 6 человек, и получили травмы 18. В 2007 году погибло 23 человека и травмировано 400, взрывами разрушено 96 квартир. Приведенные катастрофы свидетельствуют о том, что работы, связанные с прогнозированием взрыво-пожаробезопасности квартир и разработка организационных и технических мероприятий по предотвращению катастроф в жилищно-коммунальном хозяйстве страны, являются актуальной научной проблемой.

Цель доклада. Научно обосновать эффективность применения газовой защиты с действием на перекрытие газа в квартиру дополнительно установленным быстродействующим электромагнитным клапаном, получающим сигнал от органа управления, в случае, если концентрация бытового газа в воздухе будет 2% и на сигнал оповещения - при концентрации 1 %.

Предположим, что взрыв в квартире происходит при совпадении в пространстве и времени двух случайных событий: появления опасной концентрации бытового газа в квартире и появление, например, экзогенного источника (коммутация выключателя в квартире).

Для определения вероятности появления взрывов в квартире воспользуемся математической моделью «источник-среда» [4].

Вероятность взрыва бытового газа определим следующим образом:

$$Q_1(t) = 1 - [P_1(t) + P_2(t) + P_3(t)], \quad (1)$$

где  $P_1(t)$  – вероятность нахождения системы в состоянии, когда: в помещении опасное загазирование отсутствует; экзогенных источников поджига нет;

$P_2(t)$  – вероятность нахождения системы в состоянии, когда: произошла утечка газа (концентрация 5-15%); экзогенный источник отсутствует;

$P_3(t)$  – вероятность нахождения системы в состоянии, когда: отсутствует взрывоопасное загазирование, появился экзогенный источник поджигания.

Данные вероятности находятся из системы дифференциальных уравнений (2).

$$\begin{cases} \dot{P}_1(t) = -(\lambda_1 + \lambda_2) \cdot P_1(t) + \mu_1 \cdot P_2(t) + \mu_2 \cdot P_3(t); \\ \dot{P}_2(t) = \lambda_1 \cdot P_1(t) - (\mu_1 + \lambda_2) \cdot P_2(t) + \lambda_1 \cdot P_1(t); \\ \dot{P}_3(t) = \lambda_2 \cdot P_1(t) - (\lambda_1 + \mu_2) \cdot P_3(t). \end{cases} \quad (2)$$

Система решается при начальных условиях:  $P_1(0)=1$ ,  $P_2(0)=0$ ,  $P_3(0)=0$ .

В системе линейных дифференциальных уравнений:

$$\lambda_1 = \frac{1}{\bar{d}_1}; \quad \mu_1 = \frac{1}{d_1}; \quad \lambda_2 = \frac{1}{\bar{d}_2}; \quad \mu_2 = \frac{1}{d_2},$$

где  $\bar{d}_1$  - средний интервал между загазированиями квартиры;

$d_1$  - средняя длительность нахождения взрывоопасного бытового газа в помещении (квартире);

$\bar{d}_2$  - средний интервал времени между появлением экзогенных источников;

$d_2$  - средняя длительность существования опасного экзогенного источника.

В том случае, если  $\lambda_i \ll \mu_i$ , вероятность взрывов в помещении в течении времени  $t$  определим с помощью формулы:

$$Q_1^*(t) = 1 - e^{-H_1 \cdot t}, \quad (3)$$

где 
$$H_1 = \frac{\lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot (\mu_1 + \mu_2)}{\mu_1 \cdot \mu_2}$$

На сегодняшний день газоснабжающие организации требуют установку газовых защит в кухнях квартир с действием на сигнал [5].

Для обеспечения взрывобезопасности квартир целесообразно использовать газовую защиту, действующую на электромагнит допол-

нительного клапана-отсекателя, который при появлении в квартире концентрации бытового газа более 2% перекрывает его поступление в квартиру, тем самым не допуская возникновения опасной концентрации. После прекращения поступления газа в квартиру, газовая защита даёт команду на включение аварийной вентиляции.

Для обеспечения взрывобезопасности квартир целесообразно использовать следующую систему управления газовой защитой.

При повышении концентрации бытового газа в квартире до 1%, устройство газовой защиты подаёт световой и звуковой сигналы оповещения, а если концентрация бытового газа возрастает до 2%, подаётся команда на электромагнитный привод клапана-отсекателя, который перекрывает подачу газа в квартиру. Далее происходит включение аварийной вентиляции и, через GSM модуль, подается сигнал оповещения на мобильный телефон владельцу квартиры.

При внедрении описанной выше системы, взрыв в квартире может произойти при совпадении в пространстве и времени следующих трёх событий: возникла опасная концентрация бытового газа; отказала в срабатывании газовая защита; появился экзогенный источник.

Вероятность совпадения в пространстве и времени этих трёх событий можно определить как:

$$Q(t) = 1 - \sum_1^7 P_i(t), \quad (4)$$

где  $P_i(t)$  - вероятность нахождения системы в одном из возможных состояний  $i = \overline{1,7}$  [2].

$$\begin{cases} \dot{P}_1(t) = -(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3) \cdot P_1(t) + \mu_1 \cdot P_2(t) + \mu_2 \cdot P_3(t) + \mu_3 \cdot P_4(t); \\ \dot{P}_2(t) = \lambda_1 \cdot P_1(t) - (\mu_1 + \lambda_2 + \lambda_3) \cdot P_2(t) + \mu_2 \cdot P_5(t) + \mu_3 \cdot P_6(t); \\ \dot{P}_3(t) = \lambda_2 \cdot P_1(t) - (\lambda_1 + \mu_2 + \lambda_3) \cdot P_3(t) + \mu_1 \cdot P_5(t) + \mu_3 \cdot P_7(t); \\ \dot{P}_4(t) = \lambda_3 \cdot P_1(t) - (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_3) \cdot P_4(t) + \mu_1 \cdot P_6(t) + \mu_2 \cdot P_7(t); \\ \dot{P}_5(t) = \lambda_2 \cdot P_2(t) + \lambda_1 \cdot P_3(t) - (\mu_1 + \mu_2 + \lambda_3) \cdot P_5(t); \\ \dot{P}_6(t) = \lambda_3 \cdot P_2(t) + \lambda_1 \cdot P_4(t) - (\mu_1 + \lambda_2 + \mu_3) \cdot P_6(t); \\ \dot{P}_7(t) = \lambda_3 \cdot P_3(t) + \lambda_2 \cdot P_4(t) - (\lambda_1 + \mu_2 + \mu_3) \cdot P_7(t). \end{cases} \quad (5)$$

$$\mu_3 = \frac{1}{\Theta - \frac{1}{\lambda_3} \cdot [1 - e^{-\lambda_3 \Theta}]},$$

Система «среда-защита-источник» может находиться в следующих восьми состояниях:  $e_1(0, 0, 0)$ ,  $e_2(1, 0, 0)$ ,  $e_3(0, 1, 0)$ ,  $e_4(0, 0, 1)$ ,  $e_5(1, 1, 0)$ ,  $e_6(1, 0, 1)$ ,  $e_7(0, 1, 1)$ ,  $e_8(1, 1, 1)$ .

Где  $e_1(0, 0, 0)$  – отсутствует опасное загазирование; система газовой защиты работоспособна; отсутствует источник поджига газовой смеси... $e_7(0, 1, 1)$  – появилось опасное загазирование помещения; газовая защита находится в отказавшем состоянии; отсутствует источник поджига взрывоопасной газовой смеси.

⊖ - интервал времени между диагностиками системы газовой защиты;

$$\lambda_3 = \frac{1}{\bar{d}_3};$$

$\bar{d}_3$  - средний интервал времени между отказами газовой защиты.

В том случае, если  $\lambda_i \ll \mu_i, i=1,2,3$  тогда

$$Q_2^*(t) = 1 - e^{-H_2 \cdot t}, \quad (6)$$

где 
$$H_2 = \frac{\lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot [\lambda_3 \cdot \theta_3^2 (\mu_1 + \mu_2) + 2]}{2 \cdot \mu_1 \cdot \mu_2}.$$

Таким образом, применение в квартире системы газовой защиты позволит повысить взрывобезопасность квартиры в  $K$  раз:

$$K = \frac{Q_1^*(t)}{Q_2^*(t)};$$

$$K = \frac{H_1}{H_2} = \frac{2 \cdot (\mu_1 + \mu_2)}{\lambda_3 \cdot [\lambda_3 \cdot \theta_3^2 (\mu_1 + \mu_2) + 2]}.$$

Пример. В среднем на каждые  $N=100\ 000$  квартир в течение 1 года было зафиксировано  $n=2$  случая загазирования квартир. Среднее время существования взрывоопасной среды в квартире (5%-15%)  $d_1=30$  мин. Среднее время между появлениями экзогенного источника  $\bar{d}_2=6.2$  ч., средняя длительность существования опасного искрового разряда в выключателе  $d_2=0,1$  сек. Средний интервал между выходом

из строя системы газовой защиты составил  $\bar{d}_3 = 7250$  ч., время диагностики системы  $\theta_3 = 720$  часов.

Определить:

а) вероятность взрывов в течение года в квартире (система газовой защиты отсутствует), используя точную и приближённые формулы;

б) вероятность взрывов в течение года в квартире с учётом наличия в квартире системы газовой защиты, используя точную и приближённые формулы;

в) определить, во сколько раз повышается взрывобезопасность квартиры при внедрении системы газовой защиты.

Используя исходные данные примера, находим:

$$\lambda_1 = \frac{n}{N \cdot t} = \frac{2}{100000 \cdot 8760} = 2.283 \cdot 10^{-9} \text{ ч}^{-1}; \quad \mu_1 = \frac{1}{d_1} = \frac{60}{30} = 2 \text{ ч}^{-1};$$

$$\lambda_2 = \frac{1}{d_2} = \frac{1}{6.2} = 0.161 \text{ ч}^{-1}; \quad \mu_2 = \frac{1}{d_2} = \frac{3600}{0.1} = 36000 \text{ ч}^{-1};$$

$$\lambda_3 = \frac{1}{d_3} = \frac{1}{7250} = 1.379 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1} \quad \mu_3 = \frac{2}{\lambda_3 \cdot \theta_3^2} = \frac{2}{1.379 \cdot 10^{-4} \cdot 720^2} = 0.029 \text{ ч}^{-1};$$

$$\theta_3 = 720 \text{ ч}^{-1}.$$

Используя системы уравнений (2), (5) при  $t = 8760$ , численным методом находим:  $P_1(t)$ ,  $P_2(t)$ , ...  $P_7(t)$ . Подставляя полученные значения в формулы (1) и (4), находим:

$$Q_1(t) = 8.816 \cdot 10^{-7} \quad Q_2(t) = 6.111 \cdot 10^{-9}$$

Используя приближённые формулы (3) и (6), находим

$$Q_1^*(8760) = 1.613 \cdot 10^{-6} \quad Q_2^*(t) = 7.951 \cdot 10^{-9}$$

Вероятность взрывов в год в квартире Украины с применением газовой защиты уменьшается примерно в 170 раз.

$$K = \frac{Q_1^*(8760)}{Q_2^*(8760)} = \frac{1.613 \cdot 10^{-6}}{7.951 \cdot 10^{-9}} = 203; \quad K = \frac{Q_1(8760)}{Q_2(8760)} = \frac{8.816 \cdot 10^{-6}}{6.111 \cdot 10^{-9}} = 144.$$

## Выводы

Приведенная работа показала, что применение газовых защит в квартирах позволит повысить их уровень взрывобезопасности в 203 раза, если рассчитывать по приближенным формулам, а если по точным – в 144 раза.

### Библиографический список

1. К. Капур, Л. Ламберсон. Надёжность и проектирование систем/ Перевод с английского Е.Г. Коваленко, под редакцией И.А. Ушанова. Москва, Мир 1980 – 604 с.
2. Хейли Дж., Кумамото Х. Надёжность технических систем и оценка риска/ Перевод с английского В.С.Сыромятникова, Г.С. Деминой. Под общей редакцией В.С.Сыромятникова – М.: Машиностроение, 1984.- 528 с.
3. ГОСТ 12.1.010-76. Взрывобезопасность. Общие требования. – М.: Издательство стандартов, 1976 – 6с.
4. Ковалёв П.Ф., Континов В.П., Ковалёв А.П. Надёжность и безопасность применения электрооборудования в угольных шахтах// Безопасность труда в промышленности. – 1973.-№7 с 40-41.
5. Паспорт проекта Федерального закона N 80151-5 "О внесении изменений в некоторые законодательные акты в связи с принятием технического регламента о требованиях к безопасности домового газового оборудования" (внесен депутатами ГД ФС РФ Ю.А. Липатовым, В.К. Марковым, В.А. Язевым)