

**Термография дефектных структур при циклической активации упругими напряжениями/ Базалеев Н. И., Брюховецкий В. В., Клепиков В. Ф., Литвиненко В. В., Прохоренко Е. М. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2014. - № 7 (1050). – С.201-207. – Бібліогр.: 9 назв. ISSN 2079-5459**

Запропоновано та апробовано метод тепловізійної термографії дефектних структур в металах і сплавах на основі циклічної активації пружними напруженнями об'єкта контролю та реєстрації термоаномалій, зумовлених структурними неоднорідностями. Виявлено значну чутливість методу до проявлення нелінійності параметру теплопровідності через наявність мікродефектів у зразку.

**Ключові слова:** термографічний метод дефектоскопії, термопроявлення дефектних структур.

**Thermography of imperfect structures during the cyclic activating resilient tensions/ M. I. Bazaleev, V. V. Bryukhovetsky, V. F. Klepikov, V. V. Lytvynenko, E.M.Prokhorenko //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: New desicions of modern technologies. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2014.-№ 7 (1050).- P.201-207. Bibliogr.:9. ISSN 2079-5459**

Proposed and tested method of thermal thermography defect structures in metals and alloys based on cyclic activation elastic stresses object monitoring and recording thermal anomaly caused by structural inhomogeneities. Revealed a significant sensitivity to the manifestation of the nonlinearity parameter of thermal conductivity due to the presence of micro-defects in the sample.

**Keywords:** thermographic inspection method, thermoexhibitings defect structures

## УДК 696.2

*И. И. МОСКВИНА*, канд. техн. наук, доц., ДонНТУ, Донецк

### **ВЕРОЯТНОСТЬ ВЗРЫВОВ ГАЗОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ В ГАЗИФИЦИРОВАННОЙ КВАРТИРЕ ИЗ-ЗА АВАРИЙ НА ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОМ ПУНКТЕ**

Предложена методика оценки взрывобезопасности бытовых объектов вследствие аварий на газораспределительном пункте (ГРП), которая математически описывает зависимость вероятности загазованности помещения в течение года от параметров потока отказов регулятора давления, сбросного и запорного клапанов, установленных на газораспределительном пункте, и сроков их диагностики, что позволяет обосновать целесообразность установки электромагнитного клапана-отсекателя на вводе в газифицированное помещение. Приведены примеры расчетов.

**Ключевые слова:** взрыв, газ, случайное событие, отказ, вероятность.

**Введение.** Причиной загазирования газифицированных квартир может быть авария на газораспределительном пункте (ГРП), произошедшая в результате перехода газа из трубопровода среднего давления (0,005-0,3 МПа) в трубопровод низкого давления (до 5 кПа). Подобная авария может спровоцировать отрыв пламени от горелок газовых печей, установленных в квартирах, что вызывает загазирование помещения до взрывоопасной концентрации (5-15 %) и при случайном появлении источника поджигания возможен взрыв [1, 2].

**Анализ литературных данных и постановка проблемы.** В Украине на обслуживании предприятий по газоснабжению и газификации находится свыше 17,5 тыс. ГРП, из которых более 50% отработали свой гарантийный срок эксплуатации [3].

**Цель и задачи исследования.** Определить, какова вероятность взрывов в течение года в газифицированной квартире украинцев из-за аварий на ГРП. Задачей исследования является раскрытие механизма влияния параметра потока отказов оборудования газо-

распределительного пункта (регулятора давления, сбросного и предохранительно-запорного клапанов), сроков их диагностики, частоты и длительности появления источника инициирования взрывов на процесс аварийной загазованности помещения до взрывоопасной концентрации метановоздушной смеси.

**Математическая модель процесса формирования взрывов при эксплуатации оборудования ГРП.** Взрыв бытового газа в квартире может произойти при случайном совпадении в пространстве и времени четырех случайных событий: отказ в системе регулятора давления (на его выходе резко повысилось давление); отказ сбросного клапана (срабатывает при повышении давления газа на выходе регулятора давления на 15%), отказ предохранительно-запорного клапана (срабатывает при повышении давления газа в трубопроводе на 25%); появился источник возможного поджигания метановоздушной смеси (коммутация выключателя, зажженная сигарета и т.д.) [4].

Изменение состояния перечисленных событий представим в виде четырех независимых однородных, регулярных марковских процессов  $\xi_1(t)$ ,  $\xi_2(t)$ ,  $\xi_3(t)$ ,  $\xi_4(t)$  соответственно с двумя дискретными состояниями и непрерывным временем [5 – 8]. Пусть каждый из перечисленных процессов в течение времени может находиться в несовместных состояниях: "0" - безопасное и "1" - опасное и имеют параметры:  $\lambda_1, \mu_1; \lambda_2, \mu_2; \lambda_3, \mu_3; \lambda_4, \mu_4$  соответственно. Взрыв в квартире наступит в момент встречи процессов  $\xi_i(t)$ ,  $i = \overline{1,4}$  в состоянии "1", т.е. когда  $\xi_1(t) = 1, \xi_2(t) = 1, \xi_3(t) = 1, \xi_4(t) = 1$  [9, 10].

Для определения вероятности взрывов  $Q(t)$  в квартире в течение времени  $t$ , необходимо рассмотреть совокупность процессов  $\xi_i(t)$ ,  $i = \overline{1,4}$  как один регулярный однородный марковский процесс  $\chi(t)$ , который может находиться в 16 дискретных состояниях. В любой момент времени процесс  $\chi(t)$  может находиться в одном из 16 дискретных состояний  $E \{e_1(0,0,0,0), e_2(1,0,0,0), \dots, e_6(1,1,1,1)\}$  [11].

При случайном попадании процесса в состояние  $e_{16}(1,1,1,1)$  происходит взрыв в квартире.

Вероятность взрыва в квартире в течение времени  $t$  определяется с помощью формулы:

$$Q(t) = 1 - \sum_{j=1}^m P_j(t), \quad m = \overline{1,15} \quad (1)$$

Вероятность  $P_j(t)$  определяются из системы линейных дифференциальных уравнений

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

где  $P(t) = \left[ \dot{P}(t) \right]_{i=1}^{15}$  – вектор-строка;  $P(t) = \left[ \dot{P}(t) \right]_{i=1}^{15}$  – вектор-строка.

Система уравнений (2) решается при начальных условиях:  $P_1(0) = 1, P_2(0) = 0, \dots, P_{15}(0) = 0$ .

Для описанной выше задачи, матрицу  $A$  можно получить, используя [11, 12].

Диагональные элементы определяются следующим образом:

$$\begin{aligned} \tilde{n}_1 &= \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4; & \tilde{n}_9 &= \mu_4 + \mu_1 + \lambda_3 + \lambda_2; \\ \tilde{n}_2 &= \mu_1 + \lambda_3 + \lambda_2 + \lambda_4; & \tilde{n}_{10} &= \mu_4 + \mu_2 + \lambda_3 + \lambda_1; \\ \tilde{n}_3 &= \mu_2 + \lambda_3 + \lambda_1 + \lambda_4; & \tilde{n}_{11} &= \mu_4 + \mu_3 + \lambda_1 + \lambda_2; \\ \tilde{n}_4 &= \mu_3 + \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_4; & \tilde{n}_{12} &= \mu_4 + \mu_3 + \mu_1 + \lambda_2; \\ \tilde{n}_5 &= \mu_3 + \mu_1 + \lambda_4 + \lambda_2; & \tilde{n}_{13} &= \mu_4 + \mu_3 + \mu_2 + \lambda_1; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\tilde{n}_6 &= \mu_3 + \lambda_2 + \lambda_4 + \lambda_1; & \tilde{n}_{14} &= \mu_4 + \mu_2 + \mu_1 + \lambda_3; \\ \tilde{n}_7 &= \mu_2 + \mu_1 + \lambda_4 + \lambda_3; & \tilde{n}_{15} &= \mu_2 + \mu_1 + \mu_3 + \lambda_4. \\ \tilde{n}_8 &= \mu_4 + \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3;\end{aligned}$$

$$A = \begin{pmatrix} \tilde{n}_1 & -\lambda_1 & -\lambda_2 & -\lambda_3 & 0 & 0 & 0 & -\lambda_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\mu_1 & \tilde{n}_2 & 0 & 0 & -\lambda_3 & 0 & -\lambda_2 & 0 & -\lambda_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\mu_2 & 0 & \tilde{n}_3 & 0 & 0 & -\lambda_3 & -\lambda_1 & 0 & 0 & -\lambda_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\mu_3 & 0 & 0 & \tilde{n}_4 & -\lambda_1 & -\lambda_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\lambda_4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\mu_3 & 0 & -\mu_1 & \tilde{n}_5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\lambda_4 & 0 & 0 & -\lambda_2 \\ 0 & 0 & -\mu_3 & -\mu_2 & 0 & \tilde{n}_6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\lambda_4 & 0 & -\lambda_1 \\ 0 & -\mu_2 & -\mu_1 & 0 & 0 & 0 & \tilde{n}_7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\lambda_4 & -\lambda_3 \\ -\mu_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \tilde{n}_8 & -\lambda_1 & -\lambda_2 & -\lambda_3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\mu_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\mu_1 & \tilde{n}_9 & 0 & 0 & -\lambda_3 & 0 & -\lambda_2 \\ 0 & 0 & -\mu_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\mu_2 & 0 & \tilde{n}_{10} & 0 & 0 & -\lambda_3 & -\lambda_1 \\ 0 & 0 & 0 & -\mu_4 & 0 & 0 & 0 & -\mu_3 & 0 & 0 & \tilde{n}_{11} & -\lambda_1 & -\lambda_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\mu_4 & 0 & 0 & 0 & -\mu_3 & 0 & -\mu_1 & \tilde{n}_{12} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\mu_4 & 0 & 0 & 0 & -\mu_3 & -\mu_2 & 0 & \tilde{n}_{13} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\mu_4 & 0 & -\mu_2 & -\mu_1 & 0 & 0 & 0 & \tilde{n}_{14} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\mu_2 & -\mu_1 & -\mu_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \tilde{n}_{15} \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$\lambda_1 = 1/\bar{d}_1; \quad \lambda_2 = 1/\bar{d}_2; \quad \lambda_3 = 1/\bar{d}_3; \quad \lambda_4 = 1/\bar{d}_4$$

$\bar{d}_1, \bar{d}_2, \bar{d}_3$  – средние интервалы времени между отказами в срабатывании регулятора давления, сбросного и предохранительно-запорного клапанов; соответственно  $\bar{d}_4$  – средний интервал между появлением опасного источника поджигания

$$\mu_1 = 1/d_1; \quad \mu_2 = 1/d_2; \quad \mu_3 = 1/d_3; \quad \mu_4 = 1/d_4$$

$d_1, d_2, d_3$  – средняя продолжительность нахождения регулятора давления, сбросного и предохранительно-запорного клапанов в необнаруженном отказавшем состоянии;  $d_4$  – длительность существования источника поджигания.

Если заданы интервалы времени  $\theta_i$  между диагностиками регулятора давления, отсекающего мгновенного действия и сбросного клапана, значение  $\bar{\mu}_i$ , где  $i = 1, 3$ , рассчитываются по формуле [13]:

$$\mu_i = \frac{1}{\theta_i - \frac{1}{\lambda_i} \{1 - \exp[-\lambda_i \cdot \theta_i]\}}. \quad (4)$$

В том случае, если  $\lambda_i \cdot \theta_i < 0,1$ , тогда:

$$\mu_i = \frac{2}{\lambda_i \cdot \theta_i^2}. \quad (5)$$

Используя формулы (1,4), систему уравнений (2), матрицу (3), можно определить вероятность того, что в течение времени  $t$  произойдет взрыв в газифицированном помещении из-за аварий на ГРП.

**Пример 1.** Переход газа среднего давления (5кПа-0,3Мпа) в трубопровод низкого давления (до 5кПа) может произойти при совпадении в пространстве и времени следующих случайных событий: произошел отказ в системе регулятора давления (не обеспечивает снижение входного давления); отказ в срабатывании сбросного клапана; отказ в срабатывании предохранительно-запорного клапана; появился источник поджигания метановоздушной смеси (коммутация выключателя на кухне).

Исходные данные [2]:

$\bar{d}_1=7,6$  год,  $\bar{d}_2=4,85$  год,  $\bar{d}_3=13,3$  год – средние интервалы времени между отказами в срабатывании предохранительно-запорного клапана, регулятора давления, сбросного клапана;

$\theta_1=0,167$  год,  $\theta_2=0,019$  год,  $\theta_3=0,167$  год – интервалы времени между проверками работоспособности предохранительно-запорного клапана, регулятора давления, сбросного клапана;

$d_4=8$  час;  $d_4=0,2$  сек.

Определить вероятность появления взрывов в газифицированной квартире в результате попадания газа из трубопровода среднего давления, в котором газ находится под давлением до 300 кПа в трубопровод низкого давления (ввод в жилой дом), где максимально допустимое значение давления газа составляет 3 кПа.

**Решение.** Используя исходные данные примера и формулу (4), находим:

$$\lambda_1 = 1/\bar{d}_1 = 1/7,6 = 0,132 \text{ год}^{-1}; \quad \mu_1 = \frac{1}{0,167 - \frac{1}{0,132} \{1 - \exp[-0,132 \cdot 0,167]\}} = 549 \text{ год}^{-1};$$

$$\lambda_2 = 1/\bar{d}_2 = 1/4,85 = 0,206 \text{ год}^{-1}; \quad \mu_2 = \frac{1}{0,019 - \frac{1}{0,206} \{1 - \exp[-0,206 \cdot 0,019]\}} = 2,69 \cdot 10^4 \text{ год}^{-1};$$

$$\lambda_3 = 1/\bar{d}_3 = 1/13,3 = 0,075 \text{ год}^{-1}; \quad \mu_3 = \frac{1}{0,167 - \frac{1}{0,075} \{1 - \exp[-0,075 \cdot 0,167]\}} = 957,8 \text{ год}^{-1}.$$

$$\lambda_4 = 1/\bar{d}_4 = 8760/8 = 1095 \text{ год}^{-1}; \quad \mu_4 = \frac{60 \cdot 60 \cdot 8760}{0,2} = 157680000 \text{ год}^{-1}.$$

Используя исходные и полученные данные, систему уравнений (2), матрицу (3), формулу (1), находим:  $Q(1) = 1,6 \cdot 10^{-10}$ .

**Пример 2.** Определить вероятность взрывов в квартире в течение года в случае, когда предохранительно-сбросной, предохранительно-запорный клапаны и регулятор давления не обслуживаются (не проверяется их работоспособность) в процессе эксплуатации, т.е.  $\mu_1 \rightarrow 0$ ,  $\mu_2 \rightarrow 0$ ,  $\mu_3 \rightarrow 0$ . Исходные данные те же, что в примере 1:

$$\lambda_4 = 1/\bar{d}_4 = 8760/8 = 1095 \text{ год}^{-1}; \quad \mu_4 = \frac{60 \cdot 60 \cdot 8760}{0,2} = 157680000 \text{ год}^{-1}.$$

**Решение.** Используя систему уравнений (2) и матрицу (3), формулу (1), находим  $\tilde{Q}(1) = 2,2 \cdot 10^{-4}$ .

#### Выводы

1. Если контроль состояния оборудования проводить в соответствии с существующими инструкциями по эксплуатации, то вероятность взрывов в квартире в течение года из-за аварий на ГРП будет мала  $Q(1) = 1,6 \cdot 10^{-10}$ , это свидетельствует о том, что взрыв в квартире происходит исключительно по вине жильцов или вследствие плохого состояния оборудования, арматуры и внутридомовых газовых сетей.

2. Если в процессе эксплуатации состояние оборудования на ГРП не проверяется (не диагностируется), вероятность взрывов в квартире в течение года увеличивается на несколько порядков и становится равной  $\tilde{Q}(1) = 2,2 \cdot 10^{-4}$  (следствие аварий на ГРП).

3. Для исключения случаев взрывов внутри квартир из-за аварий на ГРП, экономически целесообразно на вводе в каждую квартиру многоэтажного дома установить клапан-отсекатель, который будет реагировать на повышение давления газа на вводе в квартиру, и перекрывать его подачу в аварийных режимах.

**Список литературы:** 1. Ковалев, А. П. Об оценке взрывобезопасности квартир, эксплуатирующих бытовой газ [Текст] : сб. науч. пр. / А. П. Ковалев, И. И. Лехтман, В. П. Вьюнов // ДВНЗ «Донецкий национальный технический университет». Серия «Электротехника і енергетика». – 2009. – №9(158). – С. 127-134. 2. Белоусенко, И. В. Влияние надёжности оборудования газо-распределительных пунктов на взрывобезопасность газифицированных объектов [Текст] / И. В. Белоусенко, А. П. Ковалев, И. И. Лехтман // Промышленная энергетика. – Москва. – 2011. – №11. – С. 48-54. 3. Судак, В. Пути повышения безопасности систем газоснабжения [Текст] / В. Судак, В. Сунрун, О. Слатова // Охрана труда. – 2009. – № 10. – С. 45-47. 4. Ковалев, А. П. Определение вероятности взрывов бытового газа в квартирах в течение времени  $t$  из-за аварий на газораспределительных пунктах [Текст] : сб. науч. тр. / А. П. Ковалев, И. И. Лехтман // ГВУЗ «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры». Серия «Безопасность жизнедеятельности». – 2011. – № 62. – С. 206-211. 5. Yong, L. Reliability evaluation of composite power systems using Markov cut-set method [Text] / L. Yong, C. Singh // IEEE Trans. on Power Systems. – 2010. – Vol. 25, № 2. – P. 777-785 6. Haitao, G. Automatic creation of Markov models for reliability assessment of safety instrumented systems [Text] / G. Haitao, Y. Xianhui // Reliability Engineering & System Safety. – 2008. – Vol. 93, № 6. – P. 829–837 7. Codetta-Raiteri, D. Integrating several formalisms in order to increase fault trees' modeling power [Text] / D. Codetta-Raiteri // Reliability Engineering & System Safety. – 2011. – Vol. 96, № 5. – P. 534–544 8. Ruiz-Castro, J. E. Modelling a reliability system governed by discrete phase-type distributions [Text] / J. E. Ruiz-Castro, R. Pérez-Ocón, G. Fernández-Villodre // Reliability Engineering & System Safety. – 2008. – Vol. 93, № 11. – P. 1650–1657 9. Chryssaphinou, O. Multi-state reliability systems under discrete time semi-Markovian hypothesis [Text] / O. Chryssaphinou, N. Limnios, S. Malefaki // IEEE Trans. on Reliability. – 2011. – Vol. 60, № 1. – P. 80–87 10. Lozynsky, O. Y. Failure intensity determination using Markov reliability model for renewal non-redundancy systems [Text] / O. Y. Lozynsky, S. V. Shcherbovskykh // Przegląd Elektrotechniczny. – 2009. – Vol. 85, № 4. –P. 89-91. 11. Shcherbovskykh, S. V. Mathematical models and methods for reliability characteristic determination of k-terminal systems with load-sharing taking into account [Text] / S. V. Shcherbovskykh. – Lviv Polytechnic Press, 2012. – 296 p. 12. Ковалев, А. П. О проблемах оценки безопасности электротехнических объектов [Текст] / А. П. Ковалев // Электричество. – 1991 – № 7. – С. 50-55. 13. Ковалев, А. П. Оценка пожарной безопасности передвижных трансформаторных подстанций 110/35/6 кВ [Текст] / А. П. Ковалев, А. В. Шевченко, И. В. Белоусенко // Промышленная энергетика – 1991. – № 6. – С. 14-20.

Поступила в редколлегию 20.01.2014

УДК 696.2

**Вероятность взрывов газовоздушной смеси в газифицированной квартире из-за аварий на газораспределительном пункте/ Москвина И. И. // Вісник НТУ «ХПІ». Серия: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2014. - № 7 (1050). – С.207-211 . – Бібліогр.: 13 назв. ISSN 2079-5459**

Запропоновано методику оцінки вибухобезпеки побутових об'єктів внаслідок аварій на газорозподільчому пункті (ГРП), яка математично описує залежність ймовірності загазованості приміщення протягом року від параметрів потоку відмов регулятора тиску, скидного та запірного клапанів, встановлених на газорозподільному пункті, і термінів їх діагностики, що дозволяє обґрунтувати доцільність встановлення електромагнітного клапана-відсікача на ввіді в газифіковане приміщення. Наведені приклади розрахунків.

**Ключові слова:** вибух, газ, випадкова подія, відмова, імовірність

**Risk of explosion gas mixture gasified apartments in the accident at gas distribution points/ I.Moskvina //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: New desicions of modern technologies. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2014.-№ 7 (1050).- P.207-211. Bibliogr.:13. ISSN 2079-5459**

An estimation method for household objects explosion due to accidents at gas distribution stations, which mathematically describes the dependence of the probability space gassed during the year on the parameters of the failure flow pressure regulator, relief and shut-off valve installed on the gas distribution point, and the timing of their diagnosis, which allows to prove appropriateness of setting the electromagnetic safety valve on the introduction of gasified room. Examples of calculations.

**Keywords:** explosion, gas, random event, failure probability.