

## О ЖИВУЧЕСТИ ГАЗИФИЦИРОВАННЫХ ОБЪЕКТОВ

Произведена статистическая оценка уровня живучести газифицированных квартир Украины. Предложена методика оценки живучести газифицированной квартиры. Определено влияние на живучесть газифицированной квартиры установки на вводном в квартиру газопроводе клапана-отсекателя, реагирующего на аварийное повышение давления и газовой защиты, которая действует на электромагнитный привод клапана-отсекателя и перекрывает подачу газа в квартиру при повышении концентрации метана в кухне до 2%. Приведен пример расчёта.

**Ключевые слова:** живучесть, газифицированный объект, клапан-отсекатель, взрыв бытового газа.

В энергетике под живучестью объекта понимается свойство противостоять возмущениям, не допуская их каскадного развития с массовым нарушением питания потребителей [1]. Под живучестью узла нагрузки понимается способность потребителей и их автоматических средств защиты противостоять возмущениям, которые могут привести к аварийному его отключению [2].

Под живучестью газифицированного объекта будем понимать способность автоматических средств защиты, которые реагируют на аварийное изменение контролируемых параметров (температура, давление, концентрация газа и т.д.) и обслуживающего персонала не допускать ситуаций, которые могут приводить к взрывам на нём.

Под газифицированным объектом будем понимать предприятия по переработке и хранению взрывоопасных и токсичных газов, газифицированные цеха, дома, квартиры, подвалы и т.д.

Под ситуацией будем понимать минимальное число совпадений в пространстве и времени аварийных событий, в результате чего происходят взрывы или пожары.

Под минимальным взрывоопасным совмещением аварийных событий газифицированного объекта будем понимать такой минимальный набор находящихся в опасном состоянии элементов, восстановление безопасного состояния любого из которых выводит систему из взрывоопасного состояния.

Под элементом системы понимают: средства защиты (клапан-отсекатель, газовая защита и т.д.); газоздушная среда; источник инициирования взрывов.

Под опасным состоянием средств защиты (клапана-отсекателя, газовой защиты) будем понимать их нерабочее состояние (отключена, загроблена уставка и т.д.).

Под опасным состоянием среды будем понимать длительность нахождения взрывоопасной концентрации 5-15% бытового газа в рассматриваемом помещении.

Под опасным состоянием экзогенного или эндогенного источника будем понимать способность этих источников инициировать взрывоопасную среду помещения, в котором она образовалась.

Живучесть квартиры можно характеризовать вероятностью появления взрывов (пожаров) в течение года  $Q(t)$  или числом взрывов в единицу времени  $H$ , 1/год.

По данным МЧС Украины за период с 2006 по 2008 года в газифицированных квартирах украинцев произошел  $n = 61$  взрыв из-за утечек бытового газа. За этот период ( $t = 3$  года) в Украине находилось в эксплуатации около  $N = 15\,914\,464$  газифицированных квартир. Установлено, что статистическая функция распределения интервалов времени между взрывами не противоречит экспоненциальной функции распределения вероятностей по критерию согласия Бартлетта [3].

Из этого следует, что параметр потока взрывов в квартире можно определить следующим образом:

$$H = \frac{n}{N \cdot t}, \quad (1)$$

Тогда параметр потока взрывов в квартирах украинцев:

$$H = \frac{61}{15914464 \cdot 3} = 1,28 \cdot 10^{-6} \text{ 1/год.}$$

Вероятность взрывов в квартире в течение времени  $t$ :

$$Q(t) = 1 - \exp[-H \cdot t]. \quad (2)$$

В том случае, если  $H \cdot t < 0,1$ , формула (2) примет вид:  $Q(t) \cong H \cdot t$ , т. е. при  $t = 1$  год  $Q(1) = 1,28 \cdot 10^{-6} \cdot 1 = 1,28 \cdot 10^{-6}$ .

Из этого следует, что если не предпринимать кардинальных мер по разработке наиболее точных методик для оценки и прогнозирования взрывобезопасности квартир, не разрабатывать и не внедрять новые организационные и технические мероприятия, способные не допускать загазирование квартир до взрывоопасной концентрации, то ежегодно параметр потока взрывов в квартирах украинских граждан будет попадать в доверительный интервал  $\beta_{0,95} = [1 \cdot 10^{-6}; 1,58 \cdot 10^{-6}]$ . Это означает, что с доверительной вероятностью 0,95 ежегодно число взрывов в квартирах украинцев будет попадать в интервал от 48 до 75 взрывов в год.

Целесообразно принять за норму  $Q(t) = 1 \cdot 10^{-7}$ , где  $t = 1$  год, так как такую норму возможно обеспечить на данном этапе развития техники и технологии. Эта норма предполагает уменьшение числа взрывов в год в газифицированных квартирах примерно в 10 раз за счёт внедрения новых организационных и технических мероприятий.

Во Франции, например, риск, связанный с эксплуатацией реактора АЭС, признаётся приемлемым только после того, как будет доказано, что вероятность аварии на нём в течение года не превосходит уровень  $1 \cdot 10^{-7}$ .

Живучесть газифицированной квартиры можно обеспечить следующими способами:

а) установить на вводный в квартиру трубопровод клапан-отсекатель, который будет реагировать на аварийное повышение давления газа в питающем квартиру газопроводе (авария на ГРП может являться причиной резкого повышения давления в питающем квартиру газопроводе, что приводит к отрыву пламени от горелки и её затуханию и влечёт за собой загазирование квартиры).

б) установить в кухне систему газовой защиты с действием на перекрытие поступления газа в квартиру при концентрации метана в воздухе свыше 2%.

**Цель работы.** Оценить живучесть квартиры для двух случаев:

а) в квартире отсутствуют средства защиты и автоматики, которые позволяют уменьшить вероятность взрывов в квартире;

б) на вводном в квартиру газопроводе устанавливается клапан-отсекатель, который срабатывает при аварийном повышении давления газа в трубопроводе либо при аварийном повышении концентрации метана в кухне;

в) сравнить полученные результаты.

**Результаты исследования.** Обозначим символами  $\bar{x}_i$  и  $\bar{y}_i$  следующие события:

$\bar{x}_1$  – произошел переход газа из трубопровода среднего давления в трубопровод низкого без его редуцирования (снижения);

$\bar{y}_2$  – отказал в срабатывании клапан-отсекатель, установленный на вводе в квартиру;

$\bar{x}_3$  – появился эндогенный или экзогенный источник;

$\bar{x}_4$  – потухла конфорка (залита кипящей водой);

$\bar{y}_5$  – отказала в срабатывании газовая защита.

Каждое событие  $\bar{x}_i, i = 1, 3, 4$  и  $\bar{y}_i, i = 2, 5$  характеризуется средним временем между появлениями  $\bar{d}_k$  и средней длительностью его существования  $d_k$ :

$\lambda_1 = \frac{1}{\bar{d}_1}$ ;  $\bar{d}_1$  – средний интервал времени между появлением перехода газа среднего давления в трубопровод низкого без редуцирования (снижения) давления газа;

$\mu_1 = \frac{1}{d_1}$ ;  $d_1$  – средняя длительность существования взрывоопасной концентрации газа в квартире;

$\lambda_2 = \frac{1}{\bar{d}_2}$ ;  $\bar{d}_2$  – средний интервал времени между отказами в срабатывании клапана;

$\theta_2$  – интервал времени между диагностикой состояния системы отключения клапана;

$\lambda_3 = \frac{1}{\bar{d}_3}$ ;  $\bar{d}_3$  – средний интервал времени между появлением эндогенного или экзогенного источника;

$\mu_3 = \frac{1}{d_3}$ ;  $d_3$  – длительность существования эндогенного или экзогенного источника;

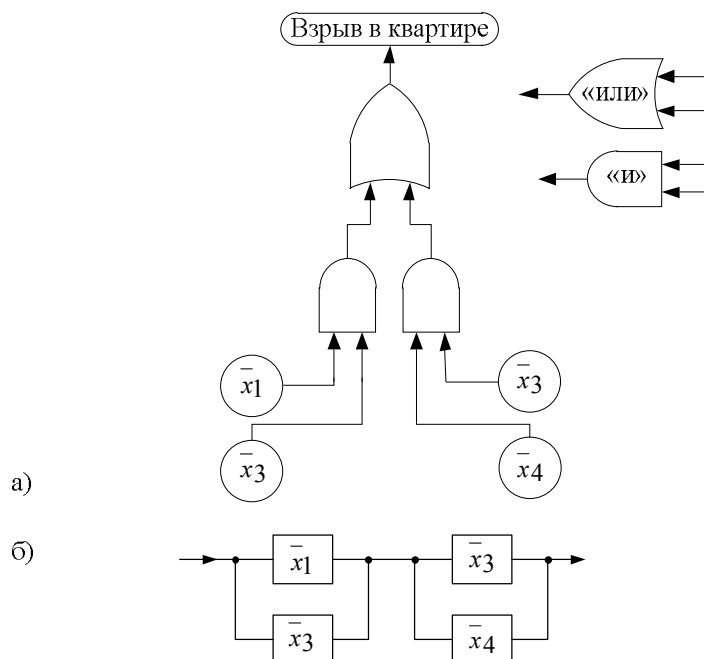
$\lambda_4 = \frac{1}{\bar{d}_4}$ ;  $\bar{d}_4$  – средний интервал времени между затуханиями конфорки, что приводило к образованию взрывоопасной концентрации бытового газа;

$\mu_4 = \frac{1}{d_4}$ ;  $d_4$  – среднее время нахождения взрывоопасной концентрации газа на кухне;

$\lambda_5 = \frac{1}{\bar{d}_5}$ ;  $\bar{d}_5$  – средний интервал времени между отказами газовой защиты;

$\theta_5$  – интервал времени между диагностикой состояния системы отключения газовой защиты.

В первом случае (в квартире нет средств защиты, обеспечивающих её взрывобезопасность) взрыв в квартире происходит при совпадении в пространстве и времени событий, указанных на рисунке 1 а), б).



**Рис. 1.** Формирование взрывов в квартире:  
а) дерево формирования взрывов; б) схема минимальных взрывоопасных совмещений

Используя схему замещения (рисунок 1 б), определим вероятность взрывов в квартире в течение времени  $t$ :

$$Q_1(t) = 1 - \exp[-H_1 \cdot t], \quad (3)$$

где

$$H_1 = \frac{\lambda_3}{\mu_3} \cdot \left[ \frac{\lambda_1 \cdot (\mu_1 + \mu_3)}{\mu_1} + \frac{\lambda_4 \cdot (\mu_4 + \mu_3)}{\mu_4} \right]. \quad (4)$$

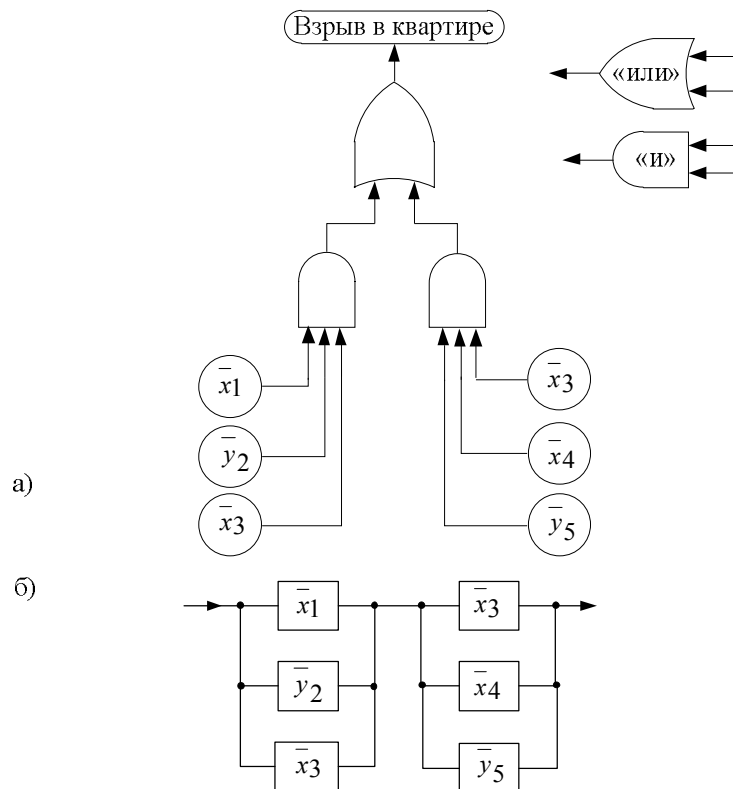
Формула (4) справедлива для случая, когда  $\lambda_1 \ll \mu_1$ ;  $\lambda_3 \ll \mu_3$ ;  $\lambda_4 \ll \mu_4$ .

В том случае, когда:  $\mu_3 \gg \mu_4$ ;  $\mu_3 \gg \mu_1$ ;  $\mu_3 \gg \lambda_1$ ;  $\mu_3 \gg \lambda_4$ , формула (4) примет вид:

$$H_1 = \lambda_3 \cdot \left[ \frac{\lambda_1}{\mu_1} + \frac{\lambda_4}{\mu_4} \right] \quad (5)$$

Во втором случае на вводе газопровода в квартиру установлен клапан-отсекатель с электромагнитным приводом, который реагирует на аварийное повышение давления в питающем квартиру трубопроводе. Этот же клапан срабатывает и в том случае, если в помещении квартиры концентрация метана достигнет 2%.

Взрыв в квартире происходит при совпадении в пространстве и времени следующих событий, указанных на рисунке 2 а), б).



**Рис. 2.** Формирование взрывов в квартире, где установлен клапан-отсекатель и газовая защита:  
а) дерево формирования взрывов; б) схема минимальных взрывоопасных совмещений

Вероятность взрывов в квартире в течение времени  $t$  для этого случая:

$$Q_2(t) = 1 - \exp[-H_2 \cdot t], \quad (6)$$

где

$$H_2 = 0,5 \cdot \lambda_3 \cdot \left[ \frac{\lambda_1 \cdot \lambda_2^2 \cdot \theta_2^2}{\mu_1} + \frac{\lambda_4 \cdot \lambda_5^2 \cdot \theta_5^2}{\mu_4} \right]. \quad (7)$$

Формула (7) справедлива для случая, когда:  $\lambda_1 \ll \mu_1$ ;  $\lambda_2 \ll \mu_2$ ;  $\lambda_3 \ll \mu_3$ ;  $\lambda_4 \ll \mu_4$ ;  $\lambda_5 \ll \mu_5$ ;  $\mu_3 \gg \mu_4$ ;  $\mu_3 \gg \mu_1$ ;  $\mu_3 \gg \lambda_1$ ;  $\mu_3 \gg \lambda_4$ ;  $\mu_3 \gg \lambda_5$ ;  $\mu_3 \gg \mu_5$ ;  $\lambda_2 \cdot \theta_2 < 0,1$ ;  $\lambda_5 \cdot \theta_5 < 0,1$ .

**Пример.** Определить живучесть квартиры для двух случаев:

а) в квартире отсутствуют автоматические средства защиты, обеспечивающие её взрывобезопасность;

б) в квартире имеются клапан-отсекатель (реагирует на повышение давления в питающем газопроводе) и газовая защита;

в) сравнить полученные результаты и оценить эффективность предлагаемых мероприятий.

**Дано:**  $\lambda_1 = 4,65 \cdot 10^{-9}$  1/год;  $\mu_1 = 17520$  1/год;  $\lambda_2 = 0,125$  1/год;  $\theta_2 = 0,5$  год;

$\lambda_3 = 730$  1/год;  $\mu_3 = 0,2$  с.;  $\lambda_4 = 4,8 \cdot 10^{-6}$  1/год;  $\mu_4 = 2920$  1/год;  $\lambda_5 = 0,67$  1/год;  $\theta_5 = 0,082$  год.

Используя исходные данные примера, формулы (5) и (3), (6) и (7), находим:

$$H_1 = 730 \cdot \left[ \frac{4,65 \cdot 10^{-9}}{17520} + \frac{4,8 \cdot 10^{-6}}{2920} \right] = 1,2 \cdot 10^{-6} \text{ 1/год;}$$

$$Q_1(t) = 1 - \exp[-1,2 \cdot 10^{-6} \cdot t] \cong 1,2 \cdot 10^{-6};$$

$$H_2 = 0,5 \cdot 730 \cdot \left[ \frac{4,65 \cdot 10^{-9} \cdot 0,125^2 \cdot 0,5^2}{17520} + \frac{4,8 \cdot 10^{-6} \cdot 0,67^2 \cdot 0,082^2}{2920} \right] = 1,13 \cdot 10^{-10} \text{ 1/год;}$$

$$Q_2(t) = 1 - \exp[-1,13 \cdot 10^{-10} \cdot t] \cong 1,13 \cdot 10^{-10}.$$

Из приведенного расчёта видно, что применение клапана-отсекателя на вводном в квартиру газопроводе и внедрение газовой защиты позволит практически полностью исключить взрывы в квартирах от использования бытового газа.

### Выводы

Результаты расчётов показали, что применение клапана-отсекателя, установленного на вводном в квартиру газопроводе, у которого наработка на отказ  $T_{cp} \geq 8$  лет и проверять работоспособность которого будут 2 раза в год  $\theta_2 = 0,5$  лет и установка в квартире (кухне) газовой защиты, которая реагирует на повышение концентрации метана в воздухе до 2%, а её наработка на отказ составит  $T_{cp} \geq 1,5$  года и контролировать её работоспособность будут 1 раз в месяц  $\theta_5 = 0,082$  года, то в этом случае предлагаемые технические решения позволят практически полностью исключить взрывы в жилых газифицированных квартирах, т.е.  $Q_2(t) = 1,13 \cdot 10^{-10}$ .

### Список литературы:

1. **Надёжность** систем энергетики. Терминология. – М.: Наука, 1980, вып. 95, 42 с.
2. **Ковалев А.П., Якимишина В.В.** О живучести объектов энергетики. – Промышленная энергетика, №1, 2006, с. 20-26.
3. **Капур К., Ламберсон Л.** Надёжность и проектирование/Пер. с англ. Под ред. Ушакова И.А. – М.: Мир, 1980. – 604 с.

## **ПРО ЖИВУЧІСТЬ ГАЗИФІКОВАНИХ ОБ'ЄКТІВ**

Проведена статистична оцінка рівня живучості газифікованих квартир в Україні. Запропоновано методику оцінки живучості газифікованої квартири. Виявлено вплив на живучість газифікованої квартири установки на ввідному в квартиру газопроводі клапана-відсікача, який реагує на аварійне підвищення тиску, і газового захисту, який діє на електромагнітний привод клапана-відсікача і перекриває подачу газу в квартиру при підвищенні концентрації метану в кухні до 2%. Наведено приклад розрахунку.

**Ключові слова:** живучість, газифікований об'єкт, клапан-відсікач, вибух побутового газу.

*A.P. Kovalyov, I.I. Lekhtman*

## **ABOUT DURABILITY OF THE GASIFIED OBJECTS**

A statistical evaluation of the level of gasified apartments durability in Ukraine has been made. A technique for estimating gasified apartments durability is presented. There has been revealed the effect on the durability of gasified apartments of installation at the introductory into the apartment gas pipeline of the safety valve, that responds to an emergency increase in pressure and gas protection, which operates on the solenoid valve of the safety valve and shuts off the gas in the apartment with increasing concentration of methane in the kitchen to 2%. An example of the calculation is presented.

**Key words:** durability, gasified object, safety valve, domestic gas explosion.

