

*Е.М. Гуліда, д-р техн. наук, професор, О.І. Башинський, канд. техн. наук, доцент,  
І.О. Мовчан, канд. техн. наук  
(Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)*

## ПРОГНОЗУВАННЯ ВИНИКНЕННЯ ПОЖЕЖ В ЖИТЛОВОМУ СЕКТОРІ НА ПІДСТАВІ АНАЛІЗУ ТЕХНОГЕННОГО РИЗИКУ

З використанням основних положень теорії надійності адаптовано методики для визначення кількісної величини техногенного ризику виникнення пожежі в житловому секторі. Отримані результати дають змогу прогнозувати значення техногенного ризику для житлових будівель і, що є також важливим для аналізу та порівняння з допустимими значеннями, запобігати можливості виникнення пожежі

**Ключові слова:** техногенний ризик, пожежа, імовірність безвідмовної роботи.

**Сучасний стан проблеми.** Результати аналізу статистичних даних показують, що з кожним роком кількість пожеж у містах України зростає з одночасним зростанням кількості людських жертв внаслідок їх виникнення. Тому необхідно впроваджувати такі заходи пожежної безпеки, які б зменшували кількість жертв при виникненні пожеж у житловому секторі. В цьому напрямку основним заходом та запобігання пожежам є визначення показників техногенного ризику на підставі яких можна прогнозувати їх виникнення. У світовій практиці використовується класифікація ризиків (за імовірністю) стосовно участі людини у надзвичайних ситуаціях та відповідними наслідками від них [1]:

- неприпустимий ризик – значення більше  $10^{-4}$ ;
- твердий контроль ризику – значення в межах  $10^{-4} \dots 10^{-5}$ ;
- можливий ризик – значення менше  $10^{-5}$ .

В Україні середньостатистичний показник ризику для людини, яка стикається з пожежею, становить 0,013; яка загинула на пожежі – 0,064; яка загинула від пожежі – 0,000081 [2]. На підставі цих даних можна стверджувати, що ризики для людини, яка стикається з пожежею і може загинути на ній, є не припустимими та відповідають категорії «не припустимий ризик».

В роботі [3] автор вказує, що вперше ризики почали визначати у США для обґрунтування побудови атомних електростанцій та для розроблення заходів щодо їх зменшення. В деяких випадках поняття ризик використовують для визначення основних чинників пожежогасіння. Наприклад, в роботі [4] показано визначення нормативного значення тривалості  $t_n$  ліквідації пожежі залежно від її середньостатистичного значення з урахуванням ризику  $\varepsilon$  ліквідації пожежі  $t_n \geq \tau_{л.сеп} \ln(1/\varepsilon)$ . В цьому випадку під ризиком розуміється урахування частини пожеж від загальної їх кількості, тривалості ліквідації яких виходить за межі деякого нормативного значення  $t_n$ . Наприклад, якщо  $\varepsilon = 0,01$ , то тільки для однієї пожежі із 100 тривалість ліквідації буде перевищувати нормативний час  $t_n$ .

Загалом можна стверджувати, що в Україні розроблено не так багато досконалих методик визначення техногенного ризику, за допомогою яких можна прогнозувати виникнення різних надзвичайних ситуацій, в тому числі і пожеж. Тому ставиться завдання в першому наближенні адаптувати методику визначення техногенного ризику для прогнозування пожеж в житловому секторі.

**Мета роботи.** Розробити методику розрахунку величини техногенного ризику для прогнозування можливих пожеж у житловому секторі.

**Постановка задачі та її розв'язання.** Житлові об'єкти повинні зберігати у часі в установлених межах значення всіх параметрів, які характеризують здатність виконувати ними потрібні функції в заданих умовах експлуатації та технічного обслуговування. Для виконання цієї умови необхідно постійно здійснювати перевірку стану житлової будівлі, точного дотримання регламенту технічного обслуговування і експлуатації. На підставі ре-

зультатів такого інспектування, наприклад, стосовно пожежної безпеки, розробляють заходи для ліквідації всіх виявлених недоліків у організації обслуговування та експлуатації житлової будівлі. Для обґрунтованого та якісного виявлення недоліків найбільш доцільно використовувати математичний апарат теорії надійності. Для кількісної характеристики властивостей надійності будь-якого об'єкта з точки зору пожежної безпеки доцільно розглядати показники безвідмовності. Одним із них є ймовірність безвідмовної роботи об'єкта  $R(t)$ . Якщо житловий об'єкт здатний виконувати усі задані функції та задовольняє усі вимоги технічної та нормативної документації, то ризик виникнення пожежі буде наближатися до нуля, тобто ймовірність відмови об'єкта  $F(t)$  є нульовою. Виходячи з основних положень теорії надійності, можна записати

$$R(t) + F(t) = 1. \quad (1)$$

Тоді ймовірність відмови об'єкта (житлової будівлі), тобто ризик виникнення пожежі становитиме:

$$F(t) = 1 - R(t). \quad (2)$$

Виходячи із залежності (2), можна вважати, що техногенний ризик  $\varepsilon$  виникнення пожежі в житловій будівлі буде еквівалентний за значенням ймовірності відмови  $F(t)$ . В цьому випадку можна записати

$$\varepsilon = 1 - R(t), \quad (3)$$

де  $R(t)$  – ймовірність безвідмовної роботи або експлуатації всієї системи житлового комплексу (житлового будинку).

Водночас, до складу систем життєзабезпечення будівлі входять: елементи сповіщення про виникнення пожежі; системи газопостачання та споживання; електричні мережі; вентиляційні системи; електронна апаратура, яка експлуатується в житловому будинку; устаткування житлового фонду, на роботу яких впливає людський фактор тощо. В цьому випадку ризик виникнення пожежі  $\varepsilon$  залежить від дії будь-якого чинника системи життєзабезпечення, виникнення якого може бути випадковим. У випадку паралельної дії чинників системи життєзабезпечення ймовірність безвідмовної роботи всієї системи можна визначити за залежністю [5]

$$R(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i(t_i)), \quad (4)$$

де  $R_i(t_i)$  – ймовірність безвідмовної роботи або експлуатації відповідної окремої системи життєвого забезпечення або техніки.

Згідно із рекомендаціями [5], для визначення ймовірності безвідмовної роботи  $R_i(t_i)$  складного обладнання, до якого належать і системи життєзабезпечення будівлі, використовують розподіл Вейбулла. В цьому випадку  $R_i(t_i)$  визначають із такої залежності:

$$R_i(t_i) = \exp \left[ - \left( \frac{t_i}{a_i} \right)^b \right], \quad i = \overline{1, n}, \quad (5)$$

де  $t_i$  – час безпосередньої роботи або кількість елементів системи життєзабезпечення, протягом якого або для яких визначають  $R_i(t_i)$ ;  $a_i$  – параметр масштабу часу напрацювання елемента системи на відмову або їх загальна кількість;  $b$  – параметр форми (якщо  $b = 1$ , то розподіл Вейбулла перетворюється в експоненціальний з параметром інтенсивності відмов  $\lambda(t_i) = 1/a_i = \text{const}$ ; якщо  $b = 2$ , то розподіл Вейбулла перетворюється в розподіл Релея з лінійною функцією інтенсивності відмов  $\lambda(t_i)$ ; якщо  $b = 3,3$ , то розподіл Вейбулла стає близьким до нормального розподілу).

Беручи до уваги рекомендації [5], для визначення значень  $R_i(t_i)$  приймаємо розподіл Вейбулла з параметром форми  $b = 2$ , який перетворюється в розподіл Релея з лінійною функцією інтенсивності відмов  $\lambda(t_i)$ . Виходячи з цих положень, визначаємо  $R_i(t_i)$  для всіх основних елементів системи життєвого забезпечення, які впливають першочергово на значення ризику виникнення пожежі.

Тоді **ймовірність безвідмовної роботи пожежних сповіщувачів** визначаємо за залежністю (5) при значенні складового чинника  $i = 1$ . В цьому випадку:  $t_1$  – тривалість роботи сповіщувача з початку експлуатації, год;  $a_1$  – тривалість напрацювання сповіщувача на від-

мову (тривалість безперервної роботи протягом 10 років згідно з ДСТУ EN 54 [6]):  $a_1 = 10 \cdot 365 \cdot 24 = 87600$  год.

**Ймовірність безвідмовної роботи газових приладів** визначаємо із залежності (5) при значенні  $i = 2$  складового чинника. Тоді:  $t_2$  – тривалість роботи газових приладів з початку експлуатації, год;  $a_2$  – тривалість напрацювання газових приладів на відмову (тривалість роботи протягом 10 років, згідно з ДБН В. [2,5] – [20] – [2001 [7]):  $a_2 = 10 \cdot 365 \cdot 24 \cdot k_e$ , год;  $k_e = 0,2 \dots 0,3$  – коефіцієнт, який враховує використання газових приладів (для розрахунків його значення приймають  $k_e = 0,25$ ); тоді  $a_2 = 21900$  год.

**Ймовірність безвідмовної роботи електричної мережі** житлового будинку визначаємо із залежності (5) при значенні  $i = 3$ . В цьому випадку:  $t_3$  – тривалість роботи електричної мережі житлового будинку з початку його експлуатації, год;  $a_3$  – тривалість напрацювання електричної мережі на відмову (тривалість безперервної роботи протягом 20 років згідно із рекомендаціями [8]):  $a_3 = 20 \cdot 365 \cdot 24 = 175200$  год.

**Ймовірність безвідмовної роботи витяжних вентиляційних каналів** житлового будинку розраховуємо із залежності (5) при  $i = 4$ . В цій залежності:  $t_4$  – кількість витяжних вентиляційних каналів житлового будинку, які не прочищені, шт. (ці дані беруться на підставі журналу обліку очищення вентиляційних каналів житлового будинку у ЖЕК);  $a_4$  – загальна кількість витяжних вентиляційних каналів житлового будинку, шт.

**Ймовірність безвідмовної експлуатації устаткування житлового фонду, на роботу якого впливає людський фактор**, визначаємо із залежності (5) при  $i = 5$ . В цьому випадку значення:  $t_5$  – кількість літніх і хворих мешканців будинку, осіб;  $a_5$  – загальна кількість мешканців будинку, осіб.

**Ймовірність безвідмовної роботи електронної апаратури**, яка експлуатується в житловому будинку (телевізори, мікрохвильові печі, комп'ютери тощо), визначаємо за залежністю (5) при  $i = 6$ . В цій залежності:  $t_6$  – тривалість роботи електронної апаратури з початку експлуатації житлового будинку, год;  $k_e = 0,15 \dots 0,4$  – коефіцієнт, який враховує робочий режим електронної апаратури;  $z_e$  – загальна кількість одиниць електронної апаратури в житловому будинку;  $z$  – кількість років з моменту введення в експлуатацію житлового будинку;  $a_6$  – час напрацювання електронної апаратури на відмову:  $a_6 = 17520z_e$ , год (згідно із рекомендаціями, які базуються на дворічному терміні гарантії на електронну апаратуру).

Після визначення значень  $R_i(t_i)$  для всіх основних елементів системи житлового комплексу, які впливають першочергово на значення ризику виникнення пожежі, необхідно визначити ймовірність безвідмовної роботи всієї системи  $R(t)$  за залежністю (4). При цьому необхідно враховувати таке: у випадку, коли якесь значення  $R_i(t_i)$  буде дорівнювати одиниці, то це значення залежності (4) не потрібно підставляти.

Необхідно також зауважити, що представлена вище методика визначення наведених шести значень  $R_i(t_i)$  не є догмою для визначення реального техногенного ризику. Можливе подальше удосконалення методик завдяки врахуванню ще інших значень  $R_i(t_i)$ ; наприклад, для підвальних приміщень будинку, відділення приводу ліфтів, електрощитової будинку, системи подачі електроенергії тощо. Нами розглянуто тільки основні чинники, які, на нашу думку, найбільше впливають на виникнення пожежі.

Обчислення значення  $R(t)$  дає змогу визначити техногенний ризик  $\varepsilon$  із залежності (3). Для прогнозу виникнення пожежі отримане значення  $\varepsilon$  необхідно порівняти з припустимим  $[\varepsilon]$ . У випадку, коли розраховане значення ризику не буде перевищувати допустимого, можна вважати, що пожежа не виникне. За допустиме значення техногенного ризику приймаємо неприпустимий ризик, тобто  $[\varepsilon] = 10^{-4}$ .

Розглянемо конкретну реалізацію на прикладі наведеної вище методики прогнозування виникнення пожеж на підставі аналізу техногенного ризику.

**Приклад.** Визначити ризик виникнення пожежі у 9-поверховому 72-квартирному житловому будинку, в якому проживає 360 мешканців, в тому числі 63 літні особи. Будинок експлуатується протягом 6 років. Кожна квартира оснащена пожежними сповіщувачами та однією газовою плитою. Крім цього, в будинку експлуатується 92 телевізори та 56 мікрохвильових печей. В будинку є 288 витяжних вентиляційних канали, усі прочищені.

### Розв'язок.

1. Визначаємо імовірність безвідмовної роботи пожежних сповіщувачів:  $t_1 = 6 \cdot 365 \cdot 24 = 52560$  год. Тоді із залежності (5) отримаємо:

$$R_1(52560) = \exp\left[-\left(\frac{52560}{87600}\right)^2\right] = 0,697702.$$

2. Визначаємо імовірність безвідмовної роботи газових приладів:  $t_2 = 6 \cdot 365 \cdot 24 \cdot k_g = 6 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 0,25 = 13140$  год. Тоді із залежності (5) отримаємо:

$$R_2(13140) = \exp\left[-\left(\frac{13140}{21900}\right)^2\right] = 0,697702.$$

3. Визначаємо імовірність безвідмовної роботи електричної мережі житлового будинку:  $t_3 = 6 \cdot 365 \cdot 24 = 52560$  год. Тоді із залежності (5) отримаємо:

$$R_3(52560) = \exp\left[-\left(\frac{52560}{175200}\right)^2\right] = 0,913939.$$

4. Визначаємо імовірність безвідмовної роботи витяжних вентиляційних каналів житлового будинку:  $t_4 = 0$ . Тоді із залежності (5) отримаємо:

$$R_4(0) = \exp\left[-\left(\frac{0}{288}\right)^2\right] = 1.$$

5. Визначаємо імовірність безвідмовної експлуатації устаткування житлового фонду, на роботу яких впливає людський фактор:  $t_5 = 63$  чол.;  $a_5 = 360$  чол. Тоді із залежності (5) отримаємо:

$$R_5(63) = \exp\left[-\left(\frac{63}{360}\right)^2\right] = 0,969842.$$

6. Імовірність безвідмовної роботи електронної апаратури визначаємо  $t_6$  із залежності (12), а саме:

$$t_6 = 8760k_e z_e z = 8760 \cdot 0,25 \cdot (92 + 56) \cdot 6 = 1944720 \text{ год};$$

$$a_6 = 17520z_e = 17520(92+56) = 2592960 \text{ год.}$$

Тоді із залежності (11) отримаємо:

$$R_6(1944720) = \exp\left[-\left(\frac{1944720}{2592960}\right)^2\right] = 0,569816.$$

7. Визначаємо імовірність безвідмовної роботи всієї системи із залежності (4). При цьому імовірність безвідмовної роботи витяжних вентиляційних каналів  $R_4 = 1$  вилучаємо. Тоді

$$R(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i(t_i)) = 1 - (1 - 0,697702)(1 - 0,697702)(1 - 0,913939)(1 - 0,969842)(1 - 0,569816) = 0,999897$$

8. Із залежності (3) визначаємо значення ризику виникнення пожежі

$$\varepsilon = 1 - R(t) = 1 - 0,999897 = 0,000102 \cdot 10^{-4}.$$

9. На підставі аналізу отриманого значення ризику можна зробити висновок про те, що виникнення пожежі в житловому будинку можливе. З метою її запобігання необхідно здійснити ряд заходів, які призведуть до зменшення ризику її виникнення, тобто значення  $\varepsilon$  повинно бути менше  $10^{-4}$ .

### Висновки

1. Розроблено методику прогнозування техногенного ризику виникнення пожежі в житловому секторі, яка на підставі аналізу отриманих результатів дає змогу отримувати висновок про ймовірність виникнення пожежі.

2. Встановлено, що найбільше впливає на значення техногенного ризику термін експлуатації газових приладів, людський фактор і кількість електронної апаратури, яка експлуатується в житловому будинку.

3. Необхідна подальша робота з метою удосконалення методики прогнозування техногенного ризику виникнення пожежі в житловому секторі на підставі розширення кількості пожежонебезпечних факторів.

#### Список літератури:

1. **Холщевников В.В.** Проблемы оценки безопасности людей при пожаре в уникальных зданиях и сооружениях / В.В. Холщевников // Пожаровзрывобезопасность: сборник научных трудов – 2003. – № 4. – С. 21-27.

2. **Джулай О.М.** Системний аналіз рівня пожежної безпеки об'єктів житлового сектору / О.М. Джулай // Вісник ЧДТУ збірник наукових праць – 2003. – №3. – С. 123-130.

3. **Бегун В.** Всі знають, що дешевше запобігти, але так хочеться вірити, що пронесе / В. Бегун // Надзвичайна ситуація: збірник наукових праць – 2010. – №6. – С. 60-63.

4. **Брушлинский Н.Н.** Моделирование оперативной деятельности пожарной службы / Н.Н. Брушлинский – М.: Стройиздат, 1981. – 96 с.

5. **Решетов Д.Н.** Надежность машин / Д.Н. Решетов, А.С. Иванов, В.З. Фадеев – М.: Издательство «Высшая школа», 1988. – 238 с.

6. **ДСТУ EN 54** Системи пожежної сигналізації. [Електронний ресурс]. – Доступний з [www.budinfo.org.ua/doc/1811902.jsp]

7. **ДБН В. 2,5 – 20 – 2001** Газоснабжение. [Електронний ресурс]. – Доступний з [www.info-build.com.ua/normativ/detail.php? ID=45526]

8. **ПУЭ** Правила устройства электроустановок. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 622 с.

*Э.Н. Гулида, О.И. Башинский, И.А. Мовчан*

### ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПОЖАРОВ В ЖИЛИЩНОМ СЕКТОРЕ НА ОСНОВАНИИ АНАЛИЗА ТЕХНОГЕННОГО РИСКА

С использованием анализа основных положений теории надежности была получена зависимость для определения количественной величины техногенного риска возникновения пожара в жилищном секторе. Полученная зависимость дает возможность прогнозировать значение техногенного риска для жилищных зданий, и что является также важным для анализа и сравнения с допустимыми значениями, предупреждать возможность возникновения пожара.

**Ключевые слова:** техногенный риск, пожар, вероятность безотказной работы

*E. Hulida, O. Bachynsky, I. Movchan*

### FORECASTING OF FIRES IN RESIDENTIAL SECTOR ON THE BASIS OF ANTHROPOGENIC RISK ASSESSMENT

Methodology of determination of quantitative measures of anthropogenic risk of fire at residential sector is adapted using the main principles of reliability theory. Obtained results allow to forecast significance of anthropogenic risk for residential sector and prevent possible fires, which is important for analysis and comparison with acceptable values.

**Key words:** anthropogenic risk, fire, possibility of no-failure operation

