

УДК 614.843 (075.32)

І.О. Мовчан

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Львів

## МЕТОДОЛОГІЯ ВИЗНАЧЕННЯ СОЦІАЛЬНОГО ПОЖЕЖНОГО РИЗИКУ

*Розроблено метод визначення соціального пожежного ризику, який дозволяє встановити імовірну кількість постраждалих від дії небезпечних факторів пожежі.*

**Ключові слова:** соціальний пожежний ризик, небезпечні фактори пожежі, протипожежний захист, критичний час пожежі, евакуація.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Гарантування пожежної безпеки об'єктів складається з визначення, аналізу та проведення оцінювання пожежного ризику, що дозволяє розробляти і впроваджувати з метою їх зменшення до прийняттого значення відповідні заходи та технічні рішення.

Ризик виникнення пожежі в будівлях (приміщеннях) з масовим перебуванням людей є актуальною проблемою сьогодення. Для цих об'єктів необхідно в першу чергу забезпечити дотримання соціального пожежного ризику в межах допустимого значення. Стосовно соціального пожежного ризику в технічній і нормативній літературі відсутні дані для його визначення та не наведені рекомендації для забезпечення допустимого значення з метою прогнозування не виникнення пожежі.

Виникає проблема у необхідності розроблення методики визначення соціального пожежного ризику для забезпечення дотримання його допустимого значення.

**Аналіз останніх досягнень і публікацій.** В роботі [1] наведено на підставі аналізу значної кількості результатів досліджень допустиме значення соціального пожежного ризику для виробничих приміщень, а саме  $[\epsilon_{c,i}] = 10^{-7}$ .

В документі [2] наведено методику визначення індивідуального пожежного ризику, в якій надаються загальні залежності без визначення значень їх складових. Для визначення складових в методиці наведені дані, які рекомендовані на підставі статистики, але вони не дозволяють визначити ризик для кожного конкретного випадку.

Визначення складових пожежного ризику для житлового сектору наведено в роботі [3]. При цьому були використані основні положення теорії надійності. Наведені рекомендації для визначення відповідних складових пожежного ризику можна використовувати і для визначення певних складових соціального пожежного ризику. Аналізуючи останні досягнення і публікації можна констатувати, що визначенню соціального

пожежного ризику та його забезпеченню приділялося недостатньо уваги.

**Мета роботи.** На підставі результатів теоретичних і експериментальних досліджень розробити методику визначення соціального пожежного ризику та заходи його забезпечення.

### Постановка задачі та її розв'язання

#### Постановка задачі:

- поетапно розглянути основні підходи до визначення соціального пожежного ризику;
- розробити методику визначення соціального пожежного ризику.

**На першому етапі** розглянемо основні підходи до визначення соціального пожежного ризику. Для об'єктів, в яких перебуває значна кількість людей, соціальний пожежний ризик визначають за умови, коли в процесі виникнення пожежі може постраждати в результаті дії небезпечних факторів пожежі не менше 10 чоловік [2].

Середнє значення постраждалих  $N_i$  в зоні виникнення пожежі від її небезпечних факторів можна визначити за залежністю

$$N_i = \sum_{i=1}^I P_i n_i, \quad (1)$$

де  $P_i$  – умовна імовірність поразення людини, яка знаходиться в  $i$ -й зоні, небезпечними факторами;  $n_i$  – середня кількість людей, яка знаходиться в  $i$ -й зоні;  $I$  – загальна кількість зон, в яких виникла пожежа.

У випадку, коли  $N_i < 10$ , виконують розрахунок індивідуального пожежного ризику.

Для визначення  $P_i$  необхідно знати можливу імовірність евакуації  $P_{e,i}$  людей з  $i$ -ї зони дії небезпечних факторів, яка в свою чергу залежить від критичного часу  $\tau_{k,i}$ , часу евакуації  $\tau_{e,i}$  та інтервалу часу від початку реалізації сценарію пожежі до початку евакуації з  $i$ -ї зони  $\tau_{p,e,i}$ . Тоді

$$P_i = 1 - P_{e,i}. \quad (2)$$

Розглянемо визначення складових для розрахунку  $P_{e,i}$ .

Визначення критичного часу  $\tau_{k,i}$ , наприклад, для пожеж класу А виконуємо в такій послідовності:

1) за концентрацією кисню

$$\tau_{k,i,O_2} = \left\{ \frac{3c_p \rho_0 T_0 V}{\pi \eta (1-\phi) Q_{min} \psi_{\Pi} v_{\Pi}^2} \ln \left[ \frac{c_p \rho_0 T_0 L_1 + \rho_{O1}}{(1-\phi) Q_{min}} \right] \right\}^{\frac{1}{n}} \quad [c], \quad (3)$$

де  $c_p \approx 10^3$  Дж·кг<sup>-1</sup>·К<sup>-1</sup> – ізобарна теплоємність газозового середовища в приміщенні;

$$\rho_0 \cdot T_0 \approx 3 \cdot 10^2 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{К};$$

$V$  – об’єм приміщення для розповсюдження продуктів горіння, м<sup>3</sup>;

$\eta \approx 1$  – коефіцієнт повноти згорання;

$\phi \approx 0,5$  – коефіцієнт тепловтрат;

$Q_{min}$  – найнижча теплота згорання, Дж/кг;

$\psi_{\Pi}$  – питома швидкість вигорання, кг·м<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup>;

$v_{\Pi}$  – лінійна швидкість розповсюдження полум’я, м/с;  $L_1$  – стехіометричний коефіцієнт, що визначає кількість кисню в кг, яка необхідна для згорання 1 кг матеріалу, що горить при пожежі;

$\rho_{O1} = 0,27$  кг/м<sup>3</sup> – початкова густина кисню в приміщенні;

$\rho_{1k} = 0,226$  кг/м<sup>3</sup> – критична густина кисню;

$n = 3$  – для кругового розповсюдження пожежі;

$n = 2$  – для лінійного розповсюдження пожежі;

2) за концентрацією токсичних газів

$$\tau_{k,i,t.g} = \left\{ \frac{3c_p \rho_0 T_0 V}{\pi \eta (1-\phi) Q_{min} \psi_{\Pi} v_{\Pi}^2} \ln \left[ \frac{1}{1 - \frac{(1-\phi) Q_{min}}{c_p \rho_0 T_0 L_2} \rho_{2k}} \right] \right\}^{\frac{1}{n}} \quad [c], \quad (4)$$

де  $L_2$  – стехіометричний коефіцієнт, який вказує кількість виділених токсичних газів в кг на 1 кг матеріалу, що горить при пожежі;

$\rho_{2k}$  – критична густина відповідного токсичного газу;

3) за оптичною густиною диму

$$\mu_i = \frac{c_p \rho_0 T_0 D}{Q_{min} \eta (1-\phi)} \times \left[ 1 - \exp \left( - \frac{\psi_{\Pi} S_{\Pi} \eta Q_{min} (1-\phi)}{c_p \rho_0 T_0 V} \tau \right) \right] \quad [\text{Нп} \cdot \text{м}^{-1}], \quad (5)$$

де  $D$  – питома димовиділення, Нп·м<sup>2</sup>/кг;

$S_{\Pi} = 0,125 \alpha v_{\Pi}^2 \tau^2$ , м<sup>2</sup> – площа кругової та кутової пожеж;

$\alpha$  – кут пожежі, рад;  $\tau$  – тривалість пожежі, с.

Для визначення критичного часу необхідно визначити критичні часи за концентрацією кисню, за концентрацією всіх можливих токсичних газів та визначити оптичну густину диму за найменшим значенням часу в с, який отримано за залежностями (3) і (4).

Значення оптичної густини диму повинно бути  $\mu_i \leq 1,2$  Нп/м.

У випадку, коли оптична густина диму буде  $\mu_i > 1,2$  Нп/м, то необхідно зменшити цей час для забезпечення наведеної умови і тільки після цього прийняти значення  $\tau_{k,i}$ .

Після цього визначаємо температуру нагріву середовища приміщення з використанням залежності для стандартного температурного режиму

$$t = [345 \lg(8\tau_{k,i} + 1)]k + t_0, \quad ^\circ\text{C} \quad (6)$$

де  $\tau_{k,i}$  – тривалість пожежі в межах критичного часу, хв;

$t_0$  – температура середовища приміщення до початку пожежі, °C; при розрахунках  $t_0$  приймають 20°C;

$k = 0,06 \dots 0,07$  – коефіцієнт, який враховує розповсюдження тепла від осередку пожежі на її початковій стадії по об’єму приміщення на висоті до 2 м від підлоги.

Значення  $t$  на проходах не повинно перевищувати 70°C. У випадку, коли  $t$  буде більше 70°C, то необхідно зменшувати  $\tau_{k,i}$ .

З усіх визначених часів необхідно вибрати найменше значення, яке буде відповідати  $\tau_{k,i}$ . Багаточисельні розрахунки для різних об’ємів приміщень показали, що критичний час коливається в межах  $\tau_k = 5 \dots 10$  хв.

Цей час можна збільшити приблизно в два рази, якщо всі хто знаходиться в приміщенні об’єкта будуть забезпечені індивідуальними засобами захисту дихальних органів.

Крім цього, необхідно враховувати температуру повітря вздовж шляхів евакуації.

Результати аналізу температур початкових стадій пожеж в приміщеннях показали, що на відстані 10...18 м від осередку пожежі температура повітря на висоті від підлоги до 2...2,5 м за 10...15 хв від початку пожежі менше 70°C.

Після визначення критичного часу  $\tau_{k,i}$  визначаємо імовірності евакуації  $P_{e,i}$  постраждалих із зони виникнення пожежі

$$P_{e,i} = 1 - (1 - P_{e,п,i})(1 - P_{e,a,i}), \quad (7)$$

де  $P_{e,п,i}$  – імовірність евакуації людей, які знаходяться в приміщенні і-ої зони, по евакуаційним шляхам при реалізації сценарію пожежі;

$P_{e,a,i}$  – імовірність евакуації людей через аварійні виходи або за допомогою інших засобів (при відсутності даних  $P_{e,a,i}$  допускається приймати 0,03 при ная-

вності аварійних виходів, засобів рятування та 0,001 – при відсутності).

Імовірність евакуації людей  $P_{e,п.i}$  по евакуаційним шляхам в зоні виникнення пожежі визначають за залежністю

$$P_{e,п.i} = \frac{0,8\tau_{к,i} - \tau_{e,i}}{\tau_{п,e,i}}, \quad (8)$$

де  $\tau_{e,i}$  – час евакуації з  $i$ -ої зони, хв;

$\tau_{п,e,i}$  – час від початку пожежі до початку евакуації, хв (при наявності в приміщенні системи сповіщення про пожежу  $\tau_{п,e,i}$  приймають рівним часу спрацювання системи з урахуванням її інерційності, 0,25 хв; при відсутності систем сповіщення та протидимного захисту, а також систем управління евакуацією людей  $\tau_{п,e,i} = 3 \dots 6$  хв для поверху пожежі у будівлі, споруді та  $\tau_{п,e,i} = 6$  хв для вищих поверхів [1]).

Час евакуації з  $i$ -ої зони визначають за залежністю

$$\tau_{e,i} = \sum_{j=1}^m \tau_{e,j} + \tau_{з,i}; \quad (9)$$

$$\tau_{e,j} = \frac{l_{e,j}}{k_B V_{e,j,d}}, \quad (10)$$

де  $t$  – загальна кількість  $j$ -их ділянок в  $i$ -й зоні;

$\tau_{e,j}$  – час евакуації з  $j$ -ї ділянки, який не перекривається іншим часом евакуації, що діє одночасно, хв;

$l_{e,j}$  – шлях евакуації  $j$ -ї ділянки, м;

$k_B$  – кількість евакуаційних виходів;

$V_{e,j,d}$  – дійсна середня швидкість евакуації на  $j$ -й ділянці, м/хв;

$\tau_{з,i}$  – час затримки руху в  $i$ -й зоні внаслідок скопіння людей на границі переходу з  $i$ -ої зони в зону  $(i + 1)$ :

$$\tau_{з,i} = n_i S \left( \frac{1}{q_{e(i+1)} b_{e(i+1)}} - \frac{1}{q_{e,i} b_{e,i}} \right); \quad (11)$$

де  $S$  – середня площа горизонтальної проекції людини,  $m^2$  (при розрахунках приймають  $S = 0,125 m^2$ );

$q_{e,i}$  – інтенсивність руху в  $i$ -й зоні, м/хв;

$b_{e,i}$  – ширина евакуаційного проходу або дверей при виході з  $i$ -ї зони, м;

$q_{e(i+1)}$  – інтенсивність руху в  $(i+1)$  зоні, м/хв (при розрахунках приймають  $q_{e(i+1)} = 8,5$  м/хв при густині людського потоку  $D_{e,i} = 0,9 m^2/m^2$  [1, 4]);

$b_{e(i+1)}$  – ширина проходу або дверей при переході в зону  $(i+1)$ , м.

Шлях евакуації  $l_{e,j}$  визначають як діагональ прямокутної  $j$ -ої ділянки людського проходу в приміщенні об'єкта, тобто

$$l_{e,j} = k_{кр} \sqrt{L_j^2 + B_j^2}, \quad m \quad (12)$$

де  $k_{кр} = 1,4$  – коефіцієнт, який враховує кривину шляху евакуації в зоні виникнення пожежі;

$L_j$  – довжина  $j$ -го проходу в зоні виникнення пожежі, м;

$B_j$  – ширина проходу, м.

Середня швидкість руху:

– по горизонтальному шляху, через проріз та по сходах вниз можна визначити за залежністю [4]:

$$V_{e,j} = 49,5 - 9,27 \ln \left[ -\lg(0,1 + 1,284 k_{em,j}) \right]; \quad (13)$$

– при русі по сходах до верху

$$V_{e,j} = 26,75 - 6,36 \ln \left[ -\lg(0,1 + 1,284 k_{em,j}) \right]; \quad (14)$$

де  $k_{em,j}$  – коефіцієнт, який враховує емоціональний стан людей, що евакууються в  $j$ -му проході; значення цього коефіцієнту знаходиться в межах  $k_{em,j} = 0 \dots 0,7$  (при відсутності емоціонального стану  $k_{em,j} = 0$ ) [4].

Для визначення дійсної середньої швидкості руху необхідно врахувати густину людського потоку  $D_{e,j}$  ( $m^2/m^2$ ), яку визначають за залежністю [4]:

$$D_{e,j} = N_{e,j} S / (l_{e,j} b_{e,j}), \quad (15)$$

де  $N_{e,j}$  – кількість людей на ділянці  $l_{e,j}$ ;  $b_{e,j}$  – ширина проходу (дверей)  $j$ -ої ділянки, м.

В цьому випадку дійсна швидкість руху людського потоку  $V_{e,j,d}$  буде визначатися за залежністю

$$V_{e,j,d} = V_{e,j} k_D. \quad (16)$$

де значення  $k_D$  визначають за залежністю

$$k_D = 0,98 \exp(-2,11 D_{e,j}). \quad (17)$$

Крім того, густина людського потоку  $D_{e,j}$  впливає на інтенсивність його руху  $q_{e,j}$  (м/хв). Тому необхідно виконати перевірку дійсного значення  $q_{e,j}$  з допустимим  $[q]$  з використанням залежності

$$q_{e,j} = 44,38 D_{e,j}^2 + 51,6 D_{e,j} + 2,27 \leq [q], \quad (18)$$

де  $[q] = 16,5$  м/хв – для горизонтального шляху;

$[q] = 19,6$  м/хв – для дверних прорізів;

$[q] = 16$  м/хв – для сходів вниз;

$[q] = 11$  м/хв – для сходів до гори.

У випадку, коли  $q_{e,j} \leq [q]$  дійсну швидкість руху визначають за залежністю (19), а у випадку, коли  $q_{e,j} > [q]$  дійсну швидкість руху визначають при  $D_{e,j} = 0,9 m^2/m^2$ .

При визначенні імовірності евакуації людей  $P_{e,п.i}$  по евакуаційним шляхам в зоні виникнення пожежі за залежністю (11) необхідно враховувати такі положення [2]:

1)  $\tau_{e,i} < 0,8 \cdot \tau_{k,i} < \tau_{e,i} + \tau_{n.e,i}$ , то  $P_{e,n,i}$  розраховується за залежністю (8);

2)  $\tau_{e,i} + \tau_{n.e,i} \leq 0,8 \cdot \tau_{k,i}$ , то  $P_{e,n,i} = 0,999$ ;

3)  $\tau_{e,i} \geq 0,8 \cdot \tau_{k,i}$ , то  $P_{e,n,i} = 0$ .

На другому етапі переходимо до визначення соціального пожежного ризику.

Виходячи з [1–4], соціальний пожежний ризик  $\varepsilon_{c,i}$  для  $i$ -ї зони приміщення можна представити так

$$\varepsilon_{c,i} = \varepsilon_{n,i} P_{n,i} \varepsilon_{m,i} (1 - P_{e,i}) \leq [\varepsilon_{c,i}], \quad (19)$$

де  $\varepsilon_{n,i}$  – ризик виникнення пожежі в приміщенні (розраховується на підставі статистичних даних для приміщення; у випадку відсутності статистичних даних допускається приймати  $\varepsilon_{n,i} = 4 \cdot 10^{-2}$  [2]);

$P_{n,i}$  – імовірність присутності людей

$$P_{n,i} = \tau_{n,i} / 24; \quad (20)$$

де  $\tau_{n,i}$  – тривалість присутності людей, год (в більшості випадків  $\tau_{n,i} = 9$  год);

$\varepsilon_{t,i}$  – ризик відмови технічних засобів протипожежного захисту в  $i$ -й зоні приміщення

$$\varepsilon_{m,i} = \left[ \prod_{u=1}^U (1 - R_{m,i,j,u}) \right]; \quad (21)$$

де  $U$  – загальна чисельність технічних засобів протипожежного захисту;

$R_{m,i,j,u}$  – імовірність безвідмовної роботи  $i$ -го технічного засобу, який забезпечує пожежну безпеку людей при  $j$ -му сценарії пожежі для  $i$ -ї зони приміщення (значення  $R_{m,i,j,u}$  для різних технічних засобів можна визначити за залежностями, які наведені в роботі [3]);

$[\varepsilon_{c,i}]$  – допустиме нормативне значення соціального пожежного ризику згідно рекомендацій [1, 2] дорівнює  $[\varepsilon_{c,i}] = 10^{-7}$ .

У випадку, коли визначене значення соціального пожежного ризику буде більше допустимого необхідно впроваджувати відповідні можливі заходи для його зменшення до необхідних меж.

## Висновки

Розроблена методика визначення значення соціального пожежного ризику, яка дозволяє при урахованні існуючих заходів встановити стан приміщень з точки зору пожежної безпеки. На зменшення значення соціального пожежного ризику в значній мірі впливає встановлення в приміщеннях технічних засобів протипожежного захисту.

Необхідна подальша робота з метою удосконалення методу визначення та оптимізації соціального пожежного ризику і прогнозування заходів протипожежного захисту.

## Список літератури

1. Самошин Д.А. Расчет пожарных рисков для общественных, жилых и административных зданий / Д.А. Самошин. – 46 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа до ресурсу: // www.akademygps.ru.

2. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности (Прил. к приказу МЧС РФ от 30.06.2009 № 382). – М.: МЧС РФ, 2009. – 10 с.

3. Гуліда Е.М. Прогнозування виникнення пожеж в житловому секторі на підставі аналізу техногенного ризику / Е.М. Гуліда, О.І. Башинський, І.О. Мовчан // Пожежна безпека. – Львів: ЛДУ БЖД, 2012. – № 20. – С. 150-154.

4. Холицевников В.В. Моделирование людских потоков / В.В. Холицевников // Моделирование пожаров и взрывов. – М.: Ассоциация «Пожнаука», 2000. – С. 139-169.

Надійшла до редколегії 23.03.2015

**Рецензент:** д-р фіз.-мат. наук, проф. Н.Д. Сізова, Харківський національний університет будівництва і архітектури, Харків.

## МЕТОДОЛОГИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОЦИАЛЬНОГО ПОЖАРНОГО РИСКА

И.А. Мовчан

*Разработан метод определения социального пожарного риска, который позволяет установить вероятное количество пострадавших от действия опасных факторов пожара.*

**Ключевые слова:** социальный пожарный риск, опасные факторы пожара, противопожарная защита, критическое время пожара, эвакуация.

## METHODOLOGY OF DETERMINATION OF SOCIAL FIRE RISK

I.A. Movchan

*The method of determination of social fire risk that allows to set the credible amount of victims from the action of dangerous factors of fire is worked out.*

**Keywords:** social fire risk, dangerous factors of fire, fire-prevention defence, critical time of fire, evacuation.