

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

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

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 пожежі;

$\alpha$  – 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, °С; при розрахунках  $t_0$  приймають 20°С;

$k = 0,06 \dots 0,07$  – 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°С. У випадку, коли  $t$  буде більше 70°С, 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°С.

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  $j$ -ій ділянці, м/хв;

$\tau_{з,i}$  – час затримки руху в  $i$ -й зоні внаслідок скопління 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 евакуюються 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.