

*Вальченко О.І., канд. військ. наук, доц., НУЦЗУ,  
Соколов В.В., канд. мед. наук, доц., НУЦЗУ*

**МЕТОД ВИЯВЛЕННЯ УРАЖАЮЧОЇ ДІЇ СПАЛАХУ  
ГАЗОПОВІТРЯНОЇ СУМІШІ, ЩО МОЖЕ УТВОРИТИСЯ  
У ЖИТЛОВИХ ТА ПРОМИСЛОВИХ СПОРУДАХ  
У РЕЗУЛЬТАТІ НАДЗВИЧАЙНОЇ СИТУАЦІЇ**

(представлено д-ром техн. наук Туркінім І.Б.)

Пропонується методичний підхід для оцінки уражаючої дії на людей та споруди спалаху газоповітряної суміші, заснований на виборі та виявленні характеристик і енергетичних параметрів, що впливають на потужність уражаючої дії спалаху газоповітряної суміші

**Ключові слова:** уражаюча дія, газоповітряна суміш, високотемпературні поля

**Постановка проблеми.** Аналіз статистичних даних пожеж та вибухів, які відбулися у результаті спалаху газу або газоповітряної суміші, що утворилися у результаті надзвичайної ситуації у житлових та промислових спорудах свідчить, що у останні роки такі події відбуваються досить часто і їхня кількість тільки зростає. Як результат, руйнуються споруди та гинуть люди, що підтверджує необхідність проведення досліджень з метою прогнозування характеру уражаючої дії високотемпературних полів за допомогою функцій ураження, пов'язуючих ймовірність теплового ураження людей з величиною теплових потоків, режимом їх надходження і тривалістю дії.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Як свідчить аналіз ряду публікацій [1-3], питання ймовірнісної оцінки ступеня ураження людей у результаті пожеж та вибухів у літературних джерелах проаналізовано та відображено на відносно достатньому рівні. Питання визначення ймовірності ураження людей у закритих спорудах і спорудах, у яких є розвантажувальні отвори із урахуванням енергетичних параметрів повітряної ударної хвилі, що надає значний вплив на уражаючу дію, відображено недостатньо.

**Постановка завдання та його вирішення.** Метою статті є дослідження та оцінка уражаючої дії на людей та споруди спалаху

---

Метод виявлення уражаючої дії спалаху газоповітряної суміші, що може утворитися у житлових та промислових спорудах у результаті надзвичайної ситуації

газу або газоповітряної суміші, заснованих на виборі та виявленні характеристик і енергетичних параметрів, що впливають на потужність уражаючої дії спалаху газоповітряної суміші.

Високотемпературні поля (ВТП) являють собою суцільну об'ємну зону, яка утворюється при інтенсивному горінні газоповітряної суміші в приземному шарі повітря або при змиканні полум'я окремих осередків горіння. Основним уражаючим фактором (УФ) при дії ВТП є тепловий вплив променистих і конвективних теплових потоків від зони суцільного полум'я.

ВТП характеризується просторовими (лінійні розміри, об'єм зони горіння), часовими (час існування) і енергетичними (сумарний імпульс теплової енергії, тепловий потік) параметрами, причому внаслідок динамічності процесів, що протікають у ВТП, просторові та енергетичні характеристики є функціями часу, тобто процесами нестационарними.

Прогнозування характеру уражаючої дії ВТП може здійснюватися за допомогою функцій ураження, які пов'язують ймовірність теплового ураження людей з величиною теплових потоків, режимом їх надходження і тривалістю дії.

Для умов короткочасного впливу на шкіру теплових потоків оцінку ймовірності ураження шкірних покривів у високотемпературних полях можна провести за величиною імпульсу теплової енергії. Ймовірність температурних уражень шкіри 1, 2, 3 ступеня в залежності від величини падаючого імпульсу теплової енергії описується інтегральною функцією нормального розподілу [1, 2]

$$P(U_{m.e}) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^{U_{m.e}} \exp\left(-\frac{(U_{m.e} - U_{(0,5)})^2}{2\sigma^2}\right) dU_{m.e}, \quad (1)$$

де  $U_{m.e}$  – значення імпульсу теплової енергії;  $U_{(0,5)}$  – величина імпульсу теплової енергії, що викликає опік не нижче заданого ступеня з ймовірністю 0,5;  $\sigma$  – середнє квадратичне відхилення уражаючого значення імпульсу теплової енергії.

Профіль імпульсів теплової енергії в зоні дії одиночних джерел газоповітряної суміші знаходиться по залежності [1]

$$U_{m.e}(t) = 3,875U_{m.e.sp} \left( \exp\left[-\left(\frac{R}{R_m}\right)^2\right] - 0,368 \right),$$

де  $R$  – відстань від центру джерела, м;  $R_m$  – радіус максимального теплового впливу, м;  $U_{m.e.sp}$  – тепловий імпульс, усереднений по площі теплового впливу, кДж/м<sup>2</sup>.

Залежність (1) має обмежену область застосування, тому що в ній не враховується час впливу теплових потоків. Ймовірність технічного опіку шкіри (ймовірність ураження людей різного ступеня тяжкості), що враховує як величину імпульсу теплової енергії, так і час впливу теплових потоків можна визначити за залежністю [1]

$$P(U_{m.e}, t) = 1 - \exp \left[ - \left( \frac{U_{m.e}}{1,123 U_{0,5} t^{0,28}} \right)^{2,538} \right],$$

де  $U_{0,5}$  – імпульс теплової енергії, що викликає термічний опік з ймовірністю 0,5 за час  $t = 1$ с;  $t$  – час впливу теплових потоків, с.

Величина  $U_{0,5}$  (умова утворення опіків з ймовірністю 0,5) стосовно падаючого теплового потоку визначається значенням константи у рівняннях:

$$\text{опіки 1 ступеня } gt^{0,72} = 80 \text{ кДж / м}^2;$$

$$\text{опіки 2 ступеня } gt^{0,72} = 135 \text{ кДж / м}^2;$$

$$\text{опіки 3 ступеня } gt^{0,72} = 210 \text{ кДж / м}^2.$$

Використання методу енергетичної подоби і теорії розмірностей дозволяють визначити енергетичні параметри ВТП, що утворюються в результаті горіння та вибуху газоповітряної суміші. У цьому випадку величина сумарного поглинутого імпульсу теплової енергії визначається системою рівнянь з використанням маси газоповітряної суміші і теплоти її вибуху [1]

$$\bar{U}_{сум} = 2,53 \left( 1 + 1387 \bar{R}^2 \right)^{-1} + U_t, \text{ при } \bar{R} < 0,072;$$

$$\bar{U}_{сум} = 1,5 + U_t - \left( \bar{R} - 0,072 \right) \left( 13,2 + 4,5 \times 10^{20} \frac{Q - Q_0}{Q^4} \right),$$

$$\text{при } 0,072 \leq \bar{R} \leq 0,119;$$

$$\bar{U}_{сум} = 2,53 \left( 1 + 1387 \bar{R}^2 \right)^{-1}, \text{ при } \bar{R} > 0,119,$$

де  $\bar{U}_{\text{сум}} = \frac{U_{\text{сум}}}{E^{1/3} Q^{1/3}}$  – приведений сумарний імпульс теплової енергії;

$\bar{R} = \frac{RQ^{1/3}}{E^{1/3}}$  – приведений радіус, м;  $U_t = 2,3 \times 10^2 \frac{Q - Q_0}{E^4}$  – приведений імпульс теплової енергії, який передається шляхом конвекції, Дж/м<sup>2</sup>;  $E = Q_{\text{nm.еф}} M_{\text{гс}}$  – теплота, що виділяється при вибуху газоповітряної суміші;  $M_{\text{гс}}$  – маса газоповітряної суміші;  $Q$  – середня температура ВТП, К;  $Q_0$  – початкова температура поверхні об'єкта, що уражається.

Найбільш загальною і універсальною характеристикою повітряної ударної хвилі (ПУХ), що надає значний вплив на уражаючу дію є питома енергія ( $E_{\text{nm}}$ ), яка уявляє з себе сумарну питому надлишкову механічну енергію повітряних потоків, які прийшли слідом за фронтом ПУХ. У загальному випадку для однієї ПУХ питома енергія визначається за формулою [1, 2]

$$E_{\text{nm}} = \int_0^{t^+} \frac{P(t)U(t)}{k-1} dt + \int_0^{t^+} \frac{\rho(t)U(t)}{2} dt, \quad (2)$$

де  $P(t)$  і  $\rho(t)$  – надлишковий тиск і щільність повітря в залежності від часу;  $U(t)$  – масова швидкість повітря;  $t^+$  – тривалість фази стиснення ПУХ;  $k$  – показник ударної адіабати повітря.

Розрахунок величини ефективною питомою енергії ПУХ можна провести за наближеними залежностями, отриманими інтерполяцією результатів чисельного інтегрування рівняння (2)

$$E_{\text{еф. nm}} = \begin{cases} 8,8(P_{\phi} 10^{-5})^{1,66} t^+, \text{ при } 0,1 \times 10^5 < P_{\phi} \leq 1,5 \times 10^5, \text{ Па,} \\ (-11,35 + 19,25[P_{\phi} 10^{-5}]) t^+, \text{ при } 1,5 \times 10^5 < P_{\phi} \leq 8 \times 10^5, \text{ Па,} \\ 17,83(P_{\phi} 10^{-5}) t^+, \text{ при } 8 \times 10^5 < P_{\phi} \leq 14 \times 10^5, \text{ Па,} \\ -50,38 + 21,44(P_{\phi} 10^{-5}) t^+, \text{ при } 14 \times 10^5 < P_{\phi} \leq 20 \times 10^5, \text{ Па.} \end{cases}$$

Дещо інший вигляд рівнянь може бути отриманий на основі чисельного інтегрування рівняння (2) за методом Сімпсона. При цьому параметр  $k$  визначається за отриманим на основі регресивного аналізу даних Станюковича [4] і Бейкера [5] рівнянням

$$k = 1,402 - 1,49 \times 10^{-3} \overline{P}_\phi.$$

Шляхом інтерполяції результатів чисельного інтегрування можна отримати залежності що дозволяють визначати значення ефективної питомої і сумарної питомої енергій ПУХ (в кДж/м<sup>2</sup>) [1]

$$E_{e.nm} = \left[ 20,71 \overline{P}_\phi \exp \left( -0,58 \overline{P}_\phi \right) \right] t^+, \quad \text{при } \overline{P}_\phi < 1,0;$$

$$E_{e.nm} = \left[ -8,52 + 24,74 \overline{P}_\phi - 2,05 \overline{P}_\phi^2 + 0,18 \overline{P}_\phi^3 - 3,86 \times 10^3 \overline{P}_\phi^4 \right] t^+, \\ \text{при } 1,0 \leq \overline{P}_\phi \leq 20.$$

$$E_{nm} = \left[ 20,71 \overline{P}_\phi \exp \left( -0,46 \overline{P}_\phi \right) \right] t^+, \quad \text{при } \overline{P}_\phi \leq 1,0;$$

$$E_{nm} = \left[ -10,52 + 29,82 \overline{P}_\phi - 1,43 \overline{P}_\phi^2 + 0,19 \overline{P}_\phi^3 - 3,98 \times 10^3 \overline{P}_\phi^4 \right] t^+, \\ \text{при } 1,0 \leq \overline{P}_\phi \leq 20.$$

Запропонований метод дозволяє з достатньою для інженерних розрахунків точністю визначати параметри ПУХ, що генеруються при вибуху газоповітряної суміші.

Більш універсальним є підхід, який полягає в тому, що в якості основної характеристики ПУХ, яка визначає ефект первинного ураження людей приймається ефективна питома енергія [1]. Функція ураження людей при дії ПУХ представляється у вигляді розподілу Вейбуллі

$$P = 1 - \exp \left[ - \left( \frac{E_{e.nm}}{K_v b} \right)^c \right],$$

де  $P$  – ймовірність ураження людей;  $E_{e.nm}$  – ефективна питома енергія ПУХ, що впливає безпосередньо на людей;  $b$  – параметр масштабу;  $c$  – показник форми;  $K_v$  – емпіричний коефіцієнт орієнтації людей ( $K_v = 1$  для положення лежачи боком до фронту ПУХ,  $K_v = 2,5$  для положення лежачи головою до фронту ПУХ і  $K_v = 0,5$  для положення стоячи обличчям до фронту ПУХ).

Проте, наявність в споруді навіть невеликого розвантажувального отвору (вікна, дверей та ін.) істотно впливає на ударно-

хвильове поле (УХП), в порівнянні із замкнутим об'ємом. Параметрична функція ураження людей усередині споруди має вигляд [1, 2]

$$P = 1 - \exp \left[ - \left( \frac{E/V}{b} \right)^c \right],$$

де  $E/V$  – питома об'ємна енергія УХП, кДж/м<sup>3</sup>;  $V$  – внутрішній об'єм споруди, м<sup>3</sup>;  $b$ ,  $c$  – параметри функції ураження ( $b = 50$  кДж/м<sup>3</sup>,  $c = 2,85$ ).

**Висновки.** Таким чином, на основі даного методу стає можливим визначення рівнів ймовірності ураження людей у результаті спалаху (вибуху) газу, або газоповітряної суміші в закритих спорудах і спорудах, у яких є розвантажувальні отвори. Даний метод дозволяє виявити, на основі функцій ураження людей, уражаючу дію газоповітряної суміші, яка може утворитися у результаті надзвичайної ситуації у житлових та промислових спорудах.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Вальченко О.І. Метод визначення умовної ймовірності технічного опіку шкіри / Вальченко О.І., Гишко Г.Б., Остапова А.М. // Збірник наукових праць Харківського військового університету. Вип. 4 (10). – Харків: ХВУ, 2000.
2. Использование вероятностных оценок при анализе безопасности опасных производственных объектов / А.И. Гражданкин, М.В. Лисанов, А.С. Печеркин // Безопасность труда в промышленности. – 2002. – № 2. – С. 12-20.
3. Предупреждение и ликвидация ЧС, обусловленных террористическими акциями, взрывами, пожарами: Методическое пособие / М.И. Фолев – М.: Изд. Инст. риска и безопасности. – 2001. – 400 с.
4. Физика взрыва / под редакцией Станюковича Е. П. – М: Наука, 1975. – 704 с.
5. Бейкер У. Взрывные явления. Оценка и последствия / Бейкер У.; пер. с англ. под ред. Зельдовича Я. В. – М: Мир, 1986. – 319 с.

Вальченко А.И., Соколов В.В.

**Метод выявления поражающего действия вспышки газовой смеси, которая может образоваться в жилых и промышленных сооружениях в результате чрезвычайной ситуации**

Предлагается методический подход для оценки поражающего действия на людей и сооружения вспышки газовой смеси, основанный на выборе и выявлении характеристик и энергетических параметров, которые влияют на мощность поражающего действия вспышки газовой смеси

**Ключевые слова:** поражающее действие, газовоздушная смесь, высокотемпературные поля

Valchenko O.I., Sokolov V.V.

**Method to detect the flash of gas-air mixture, which can be formed in residential and industrial buildings in the result of emergency situation**

It is proposed methodological approach for assessment of the actions of the people and the structures of flash gas-air mixture, based on the selection and identify research institute of performance and energy parameters that affect the capacity of the flash gas-air mixture

**Key words:** lethality of, the air-gas mixture, high temperature fields