

*І.А. Чуб, д.т.н., професор, НУЦЗУ*  
*В.В. Матухно, НУЦЗУ*

## **ОЦІНКА ВПЛИВУ НАДЗВИЧАЙНОЇ СИТУАЦІЇ З ВИБУХОМ ХМАРИ ГАЗОПОВІТРЯНОЇ СУМІШІ**

Незважаючи на значну практичну потребу, в Україні на даний час відсутній єдиний теоретико-методологічний підхід до побудови методів, що забезпечують оцінку впливу вибуху хмар газоповітряної суміші (ГПС) в умовах промислового об'єкту з урахуванням особливостей забудови території, режиму вибуху, характеристик вибухонебезпечних речовин. Для кількісної оцінки параметрів повітряних ударних хвиль при вибухах ГПС розглянемо повне руйнування обладнання, що містить горючу речовину в газоподібній фазі, викид цієї речовини в навколишнє середовище, утворення хмари ГПС, вибухове перетворення ГПС [1].

На відкритому технологічному майданчику в результаті надзвичайної ситуації з повною розгерметизацією ємності, що містить скраплений пропан, стався викид 8 тонн газу з утворенням хмари ГПС. Масова концентрація газу в хмарі склала  $0,14 \text{ кг/м}^3$ , об'єм хмари – близько  $57 \text{ тис.м}^3$ . Займання хмари призвело до дефлаграційного вибуху. НС сталася влітку, в денний час, в ясну безвітряну погоду. На відстані 80 м, 100 м і 135 м від місця вибуху розміщуються споруди та відкриті технологічні установки підприємства. Потрібно визначити ймовірність їх пошкодження (руйнування) при вибуху хмари ГПС.

Дані для розв'язання задачі:

- |  |                     |
|--|---------------------|
| • вибухонебезпечна речовина                                  | пропан;             |
| • агрегатний стан суміші                                     | газова;             |
| • концентрація газу в суміші, $c_{\Gamma}$ , $\text{кг/м}^3$ | 0,14;               |
| • маса газу в хмарі, $M_{\Gamma}$ , кг                       | 8000;               |
| • питома теплота згоряння газу $q_{\Gamma}$ , Дж/кг          | $4,64 \cdot 10^7$ ; |
| • навколишній простір  | відкритий;          |
| • відстані до сусідніх об'єктів, м                           | 80, 100, 135.       |

Розрахунки будемо виконувати відповідно до рекомендацій [2].

Визначаємо ефективний енергозапас  $E$  хмари ГПС:

$$E = 2M_{\Gamma} q_{\Gamma} c_{\text{ст}}/c_{\Gamma},$$

де  $c_{\text{ст}}$  – стехіометрична концентрація пропану в суміші з повітрям,  $c_{\text{ст}} = 0,077 \text{ кг/м}^3$ .  
Отримуємо:

$$E = 2M_{\Gamma} q_{\Gamma} c_{\text{ст}}/c_{\Gamma} = 2 \cdot 8000 \cdot 4,64 \cdot 10^7 \cdot 0,077 / 0,14 = 4,1 \cdot 10^{11} \text{ Дж.}$$

Розраховуємо величину швидкості  $V_{\Gamma}$  фронту полум'я при вибуху хмари ГПС:

$$V_{\Gamma} = k_1 M_{\Gamma}^{1/6},$$

де  $k_1$  – константа,  $k_1 = 43$  [1]. Отримуємо

$$V_{\Gamma} = k_1 M_{\Gamma}^{1/6} = 43 \cdot 8000^{1/6} = 192 \text{ м/с.}$$

Визначаємо безрозмірні відстані  $R_{xi}$  до сусідніх об'єктів за формулою [3]

$$R_{xi} = r_i / (E/P_0)^{1/3},$$

де  $r_i$  – відстань до  $i$ -го об'єкта, м;  $P_0$  – нормальний атмосферний тиск,  $P_0 = 1,01 \cdot 10^5$  Па. Отримуємо

$$\begin{aligned} r_1 &= 80 \text{ м}, & R_{x1} &= r_1 / (E/P_0)^{1/3} = 80 / (4,1 \cdot 10^{11} / 1,01 \cdot 10^5)^{1/3} = 0,50; \\ r_2 &= 100 \text{ м}, & R_{x2} &= r_2 / (E/P_0)^{1/3} = 100 / (4,1 \cdot 10^{11} / 1,01 \cdot 10^5)^{1/3} = 0,63; \\ r_3 &= 135 \text{ м}, & R_{x3} &= r_3 / (E/P_0)^{1/3} = 135 / (4,1 \cdot 10^{11} / 1,01 \cdot 10^5)^{1/3} = 0,85. \end{aligned}$$

Розраховуємо основні параметри вибуху хмари ГПС при швидкості горіння 192 м/с, до яких відносяться параметри повітряних ударних хвиль вибуху – надмірний тиск  $\Delta P$  і імпульс хвилі тиску  $I$ .

1). Визначаємо безрозмірні величини тиску  $P_{1xi}$  і імпульсу  $I_{1xi}$  для дефлаграційного вибуху за значеннями безрозмірних відстаней  $R_{xi}$ ,  $i = 1, 2, 3$ , [3]. Результати розрахунків зводимо в табл. 1.

2). Для безрозмірних відстаней  $R_{xi}$ ,  $i = 1, 2, 3$ , визначаємо величини  $P_{2xi}$  і  $I_{2xi}$ , які відповідають режиму детонації і для випадку газоповітряної суміші [2]. Результати розрахунків зводимо в табл. 1.

3). Визначаємо остаточні значення безрозмірних величин  $P_{xi}$  і  $I_{xi}$ ,  $i = 1, 2, 3$ , для трьох об'єктів:

$$P_{xi} = \min (P_{1xi}, P_{2xi}); \quad I_{xi} = \min (I_{1xi}, I_{2xi}).$$

4). Після визначення безрозмірних величин тиску  $P_{xi}$  і імпульсу  $I_{xi}$  обчислюємо відповідні їм розмірні величини надлишкового тиску  $\Delta P$  і імпульсу  $I$  в повітряній ударній хвилі на відстанях 80 м, 100 м і 135 м від місця вибуху [3]. Результати розрахунків зводимо в табл. 1.

**Таблиця 1. Результати розрахунку основних параметрів вибуху хмари ГПС**

i	$r_i$ , м	$R_{xi}$	Режим вибуху				Надлишковий тиск, $\Delta P$ , Па	Імпульс хвилі тиску, $I$ , Па·с
			Дефлаграція		Детонація			
			$P_{1xi}$	$I_{1xi}$	$P_{2xi}$	$I_{2xi}$		
1	80	0,5	0,35	0,0496	0,85	0,052	$4,4 \cdot 10^4$	$2,84 \cdot 10^4$
2	100	0,63	0,29	0,0427	0,74	0,049	$2,8 \cdot 10^4$	$2,04 \cdot 10^4$
3	135	0,85	0,23	0,0368	0,68	0,041	$1,9 \cdot 10^4$	$1,37 \cdot 10^4$

Використовуючи дані табл. 1, можна виконати оцінку вражаючої дії вибуху хмари.

Реальний розподіл простору, в якому діють фактори ураження, на дві частини (одна – зона ураження, інша – зона стійкості) не має чіткої межі. Наближення параметрів вибухової хвилі на межі небезпечної зони викликає наростання ймовірності заданого рівня поразки від 0 до 100%. При перевищенні певної величини надлишкового тиску  $\Delta P$  і імпульсу  $I$  досягається 100% ймовірність поразки. Це не дозволяє точно оцінити рівень збитку на основі виділення декількох фіксованих зон ураження. Більш точну оцінку дає визначення ймовірності досягнення рівня збитку за допомогою пробіт-функції [4].

Оцінка ймовірності пошкодження промислових будівель і споруд, при яких можливо їх відновлення, визначається пробіт-функцією виду:

$$Pr_1 = 5 - 0,26 \ln V_1,$$

де параметр  $V_1$  знаходиться з виразу

$$V_1 = (17500/\Delta P)^{8,4} + (290/I)^{9,3}.$$

Оцінка ймовірності руйнування промислових будівель і споруд, при яких вони підлягають знесенню, визначається пробіт-функцією виду:

$$Pr_2 = 5 - 0,22 \ln V_2.$$

де параметр  $V_2$  визначається виразом

$$V_2 = (40000/\Delta P)^{7,4} + (460/I)^{11,3}.$$

Використовуючи отримані величини  $\Delta P$  та  $I$ , знаходимо значення відповідних пробіт-функцій для трьох заданих об'єктів і зводимо результати в табл. 2. Зв'язок пробіт-функції  $Pr_i$  з ймовірністю  $p, \%$ , того чи іншого рівня ураження від вибуху хмари ГПС визначається по [2, табл. 3]. Знайдені ймовірності ураження зводимо в табл. 2

**Таблиця 2. Результати розрахунку ймовірностей пошкодження або руйнування будівель, споруд та технологічних установок при вибухах хмар ГПС**

і	r <sub>i</sub> , м	Пробіт-функція		Ймовірність	
		Pr <sub>1</sub>	Pr <sub>2</sub>	пошкодження будівлі, %	руйнування будівлі, %
1	80	6,48	4,91	93	47
2	100	6,06	4,47	86	28
3	135	5,84	4,12	80	19

Викладена методика дозволяє оцінити наслідки НС з вибухом хмари ГПС, яка стала наслідком аварійного викиду вибухонебезпечного газу з технологічного обладнання НПЗ. Оцінка виконується з урахуванням характеристик горючого газу, режиму вибухового перетворення, параметрів хмари та інформації про навколишній простір.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Чуб І.А. Прогнозування наслідків надзвичайної ситуації з вибухом хмари газоповітряної суміші / І.А. Чуб, В.В. Матухно // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2016. – Вип. 23. – С. 186-191.
2. Общие требования к обоснованию безопасности опасного производственного объекта. Приказ Ростехнадзор 15.07.2013 г. №306 .
3. РД 03-409-01. Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей. – М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2014. – 38 с.
4. Справочник по прикладной статистике. В 2-х т. Т. 1: Пер. с англ. / Под ред. Э. Ллойда, У. Ледермана, Ю. Н. Тюрина. — М.: Финансы и статистика, 1989. – 510 с.

I.A. Chub, doctor of the technical sciences, professor, National civil defense university of Ukraine

V.V. Matukhno, National civil defense university of Ukraine

### **Assessment impact of the emergencies with the explosion a cloud of gas-air mixture**

The technique of predicting the effects of an emergency situation in the explosion of gas-air clouds in a refinery. The methodology includes the calculation of the explosion parameters and evaluating the possibility of damage to or destruction of buildings, structures and technological installations.