

*О.В. Тарахно, канд. техн. наук., доцент, УЦЗУ,
В.М. Сирих, канд. техн. наук., доцент, УЦЗУ,
Р.В. Тарахно, НДЭКЦ ЛУ УМВДУ на залізничному транспорті*

**ПРОБЛЕМНІ ПИТАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ВИБУХІВ
ГАЗОПОВІТРЯНИХ СУМІШЕЙ ПРИ ПРОВЕДЕННІ
ПОЖЕЖНО-ТЕХНІЧНИХ ЕКСПЕРТИЗ**

(представлено д-ром фіз.-мат. наук О.П. Созніком)

Наводиться алгоритм розрахунку параметрів вибуху газоповітряної хмари на відкритому просторі для його формалізації в автоматизованих інформаційних системах з метою підвищення ефективності проведення пожежно-технічних експертиз.

Постановка проблеми. Як відомо, Україна має потужну газотранспортну мережу, що поєднує 283,2 тис. км газопроводів, по яких перекачується вуглеводнева сировина, 72 компресійні станції і 13 підземних сховищ з об'ємом газу більше 32 млрд. м³. Проте, багаторічна експлуатація газотранспортної системи України призвела до фізичного зносу її основного технологічного устаткування, а отже подальша її експлуатація збільшує ризик виникнення аварій з тяжкими наслідками. Так, за останні роки відбулося декілька техногенних катастроф на магістральному трубопроводі Уренгой – Помари – Ужгород, за фактом яких було порушено кримінальні справи і призначені судові комплексні інженерно-технічні експертизи. Визначення причин та наслідків надзвичайних ситуацій, пов'язаних з аварійним витоком горючих газів і спалахуванням газоповітряної суміші, відноситься до компетенції пожежно-технічної експертизи. Застосування автоматизованих інформаційних систем (АІС) дозволить проводити такі дослідження з мінімальними витратами часу на пошук потрібної інформації, з використанням науково обґрунтованих методик і даних. Тому моделювання надзвичайних ситуацій, пов'язаних із аварійним виходом горючого газу із технологічного обладнання та утворенням вибухонебезпечних зон загазованості, розрахунок небезпечних параметрів вибуху з метою прогнозування наслідків та визначення небезпечних зон є актуальною проблемою.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У роботі [1] було показано особливості виконання пожежно-технічних експертиз, які невластиві іншим видам традиційних експертних досліджень, та розглянуто перспективу застосування новітніх інформаційних

технологій для дослідження версій виникнення пожежі в практиці пожежно-технічних досліджень. Для отримання достовірних висновків щодо можливості утворення умов виникнення та наслідків надзвичайних ситуацій необхідно використовувати науково обґрунтовані методики, адекватність яких підтверджується добрим збігом розрахованих та фактично виміряних параметрів. Наявна нормативно-методична база щодо прогнозування наслідків аварійного витоку горючих речовин в навколишнє середовище [2] - [4] дає алгоритм розрахунку таких параметрів горіння газо-пароповітряних сумішей (ГППС) як потужність вибуху, максимальний надлишковий тиск в ударній хвилі, радіус ураження ударною хвилею, радіус та час життя вогненної сфери. Проте, порівняння розрахованих за даними методиками і експериментальних радіусів ураження вибухом газо-пароповітряних сумішей [5] показало суттєву різницю отриманих результатів.

Постановка задачі та її розв'язання. Необхідною складовою проведення пожежно-технічних експертиз (ПТЕ), пов'язаних з горінням ГППС, є дослідження можливості утворення вибухонебезпечних газоповітряних сумішей, причин їх займання та наслідків таких надзвичайних ситуацій. Для підвищення ефективності проведення ПТЕ було б доцільно формалізувати в АІС методики розрахунків параметрів таких надзвичайних ситуацій. На рис. 1 у загальному вигляді запропонована схема визначення розмірів зони загазованості, зони ураження ударною хвилею вибуху, зони ураження вогненною сферою. Така схема може бути покладена в основу побудови АІС ПТЕ.

Важливим питанням, що вирішується під час проведення пожежно-технічних експертиз технологічних вибухів, є визначення можливості руйнування будівель, споруд та загибелі людей від ураження ударною хвилею і вогненною сферою. Це дозволяє підтвердити або спростувати версію виникнення та розвитку небезпечної події унаслідок займання газо-пароповітряної суміші.

Ступінь руйнування оточуючих будівельних конструкцій та ураження людей залежить від надлишкового тиску в ударній хвилі, який утворюється внаслідок різкого теплового розширення продуктів вибуху та поширюється в усіх напрямках від центру вибуху. Згідно [2] надлишковий тиск в ударній хвилі можна визначити за формулою

$$\Delta P = P_0 \left(0,8 \frac{m_{\text{ТНТ}}^{0,33}}{r} + 3 \frac{m_{\text{ТНТ}}^{0,66}}{r^2} + 5 \frac{m_{\text{ТНТ}}}{r^3} \right), \text{ кПа}, \quad (1)$$

де P_0 – атмосферний тиск, кПа; $m_{\text{ТНТ}}$ – тротиловий еквівалент вибуху,

кг; r – відстань від геометричного центру парогазової хмари, м.



Рисунок 1 – Схема дослідження вибуху газо-пароповітряних сумішей

Для визначення потужності вибуху традиційно [3, 5] використовують тротильовий еквівалент, який враховує скільки кілограмів тринітротолуолу викличуть еквівалентне руйнування на тій же відстані від центру вибуху. Тобто вважають, що газо-пароповітряні вибухи можуть моделюватися вибухами конденсованих вибухових речовин з урахуванням частки енергії, яка переходить у енергію ударної хвилі

$$m_{\text{тнт}} = \frac{Q_{\text{г}} m_{\text{гр}}}{4520}, \text{ кг}, \quad (2)$$

де $Q_{\text{г}}$ – теплота згоряння горючої речовини, кДж/кг; $m_{\text{гр}}$ – маса горючої речовини, що вибухає, кг; 4520 – теплота вибуху

тринітротолуолу, кДж/кг.

Проте, на відміну від вибухових речовин, під час горіння газоповітряної суміші у вибуховому режимі протікає горіння лише зовнішньої частини зони загазованості, в якій концентрація горючої речовини знаходиться в межах від нижньої до верхньої концентраційної межі поширення полум'я. Тому для оцінювання параметрів вибуху пароповітряної хмари на відкритому просторі приймають участь у вибуху 2 % (максимально 10 %) теплоти згорання речовини. Крім того, максимально можливий коефіцієнт корисної дії вибуху газоповітряної хмари під час дефлаграційного горіння становить близько 30 % [6]. Решта енергії залишається у нагрітих продуктах згорання. Тоді тротиловий еквівалент вибуху газо-пароповітряної хмари можна розрахувати за формулою:

$$m_{\text{ТНТ}} = \frac{0,3zQ_{\text{Г}}m_{\text{ХМ}}}{0,9 \cdot 4520}, \text{ кг}, \quad (3)$$

де 0,3 і 0,9 – відповідно частка енергії, що витрачається на формування ударної хвилі під час вибуху газо-пароповітряної хмари і тринітротолуолу;

$m_{\text{ХМ}}$ – маса горючої речовини, що надійшла до навколишнього середовища внаслідок аварійної ситуації і утворила вибухонебезпечну хмару, кг;

z – коефіцієнт участі енергії парів та газів у вибуху.

Зоною руйнування і можливого травмування людей вважають площу з прийнятим для розрахунку центром вибуху і межами, визначеними радіусом ураження $r_{\text{ураж}}$. Можливу руйнівну дію ударної хвилі під час вибуху можна оцінити на підставі узагальнених експериментальних даних [3] за апроксимаційною формулою:

$$r_{\text{ураж}} = \frac{k_i \sqrt[3]{m_{\text{виб}}}}{\left[1 + \left(\frac{3180}{m_{\text{виб}}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{6}}}, \text{ м}, \quad (4)$$

де k_i – безрозмірний коефіцієнт рівня впливу вибуху, що визначають залежно від надлишкового тиску в ударній хвилі;

$m_{\text{виб}}$ – маса горючої речовини, що приймає участь у вибуху і дорівнює $m_{\text{ХМ}} \cdot z$.

Проте, в літературі [4] пропонується інша формула для розрахунку радіуса зон ураження із заданим надлишковим тиском на

$$r_{\text{ураж}} = k_i \frac{\sqrt[3]{0,45m_{\text{ХМ}}}}{\left[1 + \left(\frac{7066}{m_{\text{ХМ}}}\right)^2\right]^{\frac{1}{6}}}, \text{ м.} \quad (5)$$

У таблиці 1 наведено порівняння розрахункових радіусів ураження, отриманих за формулами (4) із різним значенням коефіцієнту участі горючої речовини у вибуху та (5), з експериментальними даними, що були зафіксовані під час вибуху, який стався внаслідок аварійної розгерметизації технологічної ємності з 35 т пропану [7].

Таблиця 1 - Відстань від технологічного обладнання до будівель, що мають різний ступінь руйнування під час вибуху хмари пропану

Ступінь руйнування промислових та житлових будівель	Надлишковий тиск в ударній хвилі, кПа	Коефіцієнт k_i	Відстань від технологічного обладнання до зруйнованого об'єкту, м				
			спостерігана	розрахункова*			
				$r_{z=0,1}$	$r'_{z=0,3}$	r''	$1,7 \cdot r''$
повне руйнування	≥ 100	3,8	125	52	82	95	161
сильне руйнування (50 % повного руйнування)	53	5,6	225	76	120	140	238
середнє пошкодження (руйнування будівель без їх обвалу)	28	9,6	450	131	206	240	410
помірне руйнування (пошкодження внутрішніх перегородок, дверей)	12	28	800-1200	383	600	700	1200
малі пошкодження (розбито не більше 10 % скління)	3	56	2000-2300	767	1200	1400	2380

*Відстані $r_{z=0,1}$, $r'_{z=0,3}$ розраховані за формулою (4) з коефіцієнтом участі енергії газів у вибуху 0,1 та 0,3 відповідно, r'' – за формулою (5)

З таблиці видно, що фактичні зони ураження не збігаються із розрахованими значеннями. Проте, слід врахувати, що наземні вибухи є більш потужними, ніж вибухи тих самих зарядів у вільному об'ємі, через формування полусферичної хвилі вибуху і відбивання ударної хвилі від землі. По аналогії з вибухами конденсованих вибухових речовин, для яких потужність контактного наземного вибуху на незруйнованій перепоні помножується на величину 2η , де η – коефіцієнт, що враховує витрати енергії на утворення воронки у ґрунті (для середніх ґрунтів $\eta = 0,6 \dots 0,65$, для щільних ґрунтів $\eta = 0,8 \dots 0,9$), для розрахунку розмірів зони ураження надлишковим тиском вибуху газопароповітряних сумішей було б доцільно безрозмірний коефіцієнт рівня впливу вибуху k_i помножити на величину $2 \cdot 0,85 = 1,7$. Введення поправочного коефіцієнту 1,7 до формули (5) дає відстані, які достатньо близько збігаються із зонами ураження, що фактично спостерігалися (дивись табл. 1).

Висновок. Запропонована схема дослідження вибухів ГПС під час проведення ПТЕ дає змогу формалізувати в АІС розрахунки зон ураження ударною хвилею.

ЛІТЕРАТУРА

1. Сирих В.М., Тарахно О.В. Особливості та перспективи розвитку пожежно-технічної експертизи. Проблемы пожарной безопасности Сб. науч. тр.- Харьков: УГЗУ, 2008.-Вып. 24. – С. 181-185.
2. НАПБ Б.03.002-2007. Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою.
3. Бейкер У., Кокс П., Уэстрайн П. и др. Взрывные явления: оценка и последствия. – М.: Мир, 1986.
4. Руководство по анализу опасности аварийных взрывов и определение параметров их действия. РБ Г-05-039-96. М.: Госатомнадзор России. - 2000.
5. Маршалл В. Основные опасности химических производств. М.: Мир, 1989.
6. Таубкин С.И. Пожар и взрыв, особенности их экспертизы. – М., 1999.
7. Бесчастнов М.В. Оценка и обеспечение взрывобезопасности промышленных объектов. // Безопасность труда в промышленности, - 1988, № 1, С.52-97.

nuczu.edu.ua

Стаття надійшла до редакції 19.03.2009 р.