

*В.М. Сирих, к.т.н., доцент, НУЦЗУ,
О.В. Васильченко, к.т.н., доцент, НУЦЗУ*

ОЦІНКА ПОЖЕЖНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ПРИ ВИБУХУ МЕТАНОВОГО БАЛОНА

(представлено д-ром техн. наук Ключкою Ю.П.)

Розраховано параметри вибухів метано-повітряної суміші та проаналізовано пожежну небезпеку при пошкодженні метанових балонів автотранспортних засобів.

Ключові слова: метан, балон, метано-повітряна суміш, вибух.

Постановка проблеми. В Україні в останній час спостерігається значне зростання використання метанових газових балонів для газопаливних систем транспортних засобів. Метан використовується як альтернативне паливо для автомобілів завдяки дешевизні та стабільним показникам якості. Зберігається він у стиснутому вигляді в балонах металевих, метало-пластикових чи композитних об'ємом від 25 л до 80 л.

При інтенсивній та тривалій експлуатації балонів може послаблюватися контроль за їхнім станом, вони можуть пошкоджуватися в результаті корозії та механічних впливів. З цих причин можна очікувати вибуху балонів та виникнення пожежі.

Досвід експлуатації газових балонів зі стиснутим метаном на автотранспортному транспорті показує, що найбільш небезпечна операція – заправка газових балонів на газозаправному вузлі [1]. Саме в цей момент зафіксовано вибухи метано-повітряної суміші з наступним пошкодженням пожежею обладнання та будівельних конструкцій, як показано на рис. 1.



Рис. 1. Пошкодження в результаті вибуху метано-повітряної суміші автотранспортних засобів та будівельних конструкцій на багатопаливному автозаправному комплексі

У зв'язку з тим, що стан балонів не завжди можна надійно визначити, актуальною проблемою стає оцінка небезпеки при вибуху метанового балона газопаливної системи транспортного засобу в аспекті виникнення ударної хвилі та утворення умов для виникнення пожежі.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Прогнозуванню та дослідженню наслідків аварійних вибухів, які мають місце під час горіння газоповітряних сумішей на виробництвах присвячена робота [2]. При цьому у якості основних показників наслідків аварійних вибухів розглядаються очікуваний характер та об'єм руйнування будівельних конструкцій і будинків (споруд).

У роботі [1] розглянуто особливості експлуатації метанових балонів на автотранспорті та основні вимоги до їх безпечного застосування.

Але для визначення вимог щодо забезпечення безпеки при можливих вибухах балонів зі стиснутим метаном, встановлених на автомобілях, необхідно уточнити очікуваний масштаб пошкоджень споруд та обладнання.

Постановка завдання та його вирішення. Завданнями даної роботи є аналіз небезпеки виникнення ударної хвилі та можливості загорання речовин і будівельних матеріалів при вибуху метанового балона газопаливної системи транспортного засобу.

Вибух балона, у якому під тиском знаходиться метан відноситься до комбінованих вибухів. Ці вибухи супроводжуються виділенням енергії в результаті послідовного протікання фізичного і хімічного вибухів, робота яких повністю або частково підсумовується. При цьому фізичні процеси руйнування корпусу балона та виділення енергії супроводжують викид в навколишній простір газу з утворенням метано-повітряної хмари (вогневої кулі), яка швидко згорає. Температура в зонах виникнення даних явищ перевищує температуру спалахування майже всіх горючих речовин.

Утворення та швидке горіння метано-повітряної хмари притаманно для дефлаграційного процесу, який характеризується генерацією низької хвилі тиску. При швидкостях поширення полум'я менше 45 м/с ударні хвилі взагалі не виникають) [2].

Для виявлення пожежної небезпеки горіння метано-повітряної хмари треба порівняти такі її параметри як кількість енергії, що виділилася, радіус поширення хмари та радіус вогневої кулі з показниками пожежної небезпеки речовин і матеріалів, що складають пожежну навантагу автотранспортних засобів та оточуючих будівельних конструкцій.

Для розрахунку параметрів горіння метано-повітряної хмари використовувалися методи за працями [2, 3, 4]. Визначивши кількість метану (m_2), що вийшов назовні при руйнуванні балону, за формулою:

$$m_2 = V_2 \cdot \rho_2, \quad (1)$$

де V_2 – об'єм газу метану, що надійшов до навколишнього середовища при руйнуванні балону при відомій температурі навколишнього середовища, можна розрахувати масову нижню концентраційну межу поширення полум'я метану (φ'), кг/м³:

$$\varphi'_n = \varphi_n \frac{M}{100 \cdot V_t}, \quad (2)$$

де φ_n – об'ємна нижня концентраційна межа поширення полум'я по метано-повітряній суміші, $\varphi_n = 5,28$ %, M – молярна маса метану, $M = 16,04$ кг/кмоль; V_t – об'єм, який займає моль газу метану при температурі t , °С.

Кількість енергії, що виділилася під час згоряння метану внаслідок руйнування балону ($Q_{\text{сум}}$, МДж) дорівнює

$$Q_{\text{сум}} = m_2 \cdot Q_n, \quad (3)$$

де Q_n – масова нижча теплота згоряння метану, МДж/кг.

Радіус зони, що утворилася при витіканні метану із зруйнованого балону ($R_{\text{заг}}$, м) дорівнює

$$R_{\text{заг}} = 14,56 \left(\frac{m_2}{\rho_2 \cdot \varphi_n} \right)^{0,33}, \quad (4)$$

де ρ_2 – густина газу метану при температурі t °С, (кг/м³).

Радіус вогневої кулі ($R_{\text{вк}}$), м:

$$R_{\text{вк}} = 2,66 \cdot m_2^{0,327}. \quad (5)$$

У табл. 1 наведено результати розрахунку параметрів дефлаграційного вибуху при руйнуванні балонів зі стиснутим метаном об'ємом 50 л та 80 л при різних температурах. Робочий тиск метану в сосуді 200 кгс/см².

За даними [5] газ метан має наступні характеристики: максимальна температура полум'я при згорянні метану 1957 °С; нормальна швидкість поширення полум'я по метано-повітряній суміші 0,34 м/с; температура самозаймання 537 °С; максимальний тиск вибуху – 706 кПа; максимальна швидкість наростання тиску 18 МПа/с; теплота згоряння 49,8 МДж/кг; мінімальна енергія запалювання 0,28 мДж.

Результати розрахунку параметрів ураження вогневою кулею, яка утворилася при згорянні метано-повітряної суміші, показують наступне. Вогнева куля радіусом 5,32...6,80 м і температурою до 1957 °С (максимальна температура згоряння метану) протягом 1,75...2,20 с утворюється і безпосередньо контактує з будівельними конструкціями та обладнанням (швидкість розповсюдження $v \approx 3$ м/с).

Табл. 1. Параметри дефлаграційного вибуху при руйнування 50- та 80-літрових балонів зі стиснутим метаном при різних експлуатаційних температурах

№	Найменування	Балон 50 л			Балон 80 л		
		20 °С	0 °С	-20 °С	20 °С	0 °С	-20 °С
1	Кількість енергії ($Q_{\text{сум}}$), що виділилася під час згоряння метану, МДж	415	463	543	664	741	879
2	Радіус зони ($R_{\text{заг}}$), що утворилася при витіканні метану, м	19,35	19,59	20,22	22,60	22,89	23,62
3	Радіус вогневої кулі ($R_{\text{вк}}$), м	5,32	5,515	5,81	6,21	6,43	6,80
4	Час існування вогневої кулі ($\tau_{\text{вк}}$), с	1,75	1,81	1,9	2,02	2,09	2,20

В табл. 2 наводяться показники пожежної небезпеки деяких речовин і матеріалів, що складають пожежну навантагу автотранспортних засобів та будівельних конструкцій.

Табл. 2. Показники пожежної небезпеки речовин і матеріалів, що складають пожежну навантагу автотранспортних засобів та будівельних конструкцій

№	Матеріал	Температура займання, °С	Температура самозаймання, °С	Мінімальна енергія запалювання, $E_{\text{мін}}$, МДж
1	Лакофарбові покриття	250	400	–
2	Склопластик	250	480	–
3	Каучук синтетичний (шини)	220	400	50
4	Пінополіуретан	440	480	20
5	Поліетилен у виробках	310	420	6-30
6	Мастила	150	350	–

Порівнюючи показники пожежної небезпеки газу метану та складових пожежної навантаги транспортних засобів і будівельних конструкцій можна констатувати, що теплової енергії, яка виділяється при згорянні метано-повітряної суміші достатньо для загоряння речовин та будівельних матеріалів, які на момент вибуху знаходилися на даному транспортному засобі.

При руйнуванні сталевго балону утворюються іскри. Температура іскор металів знаходиться у межах температури їх плавлення, близько 1500 °С. Таким чином, іскри можуть стати джерелом запалювання метано-повітряної хмари.

Висновок. При руйнуванні сталевго балона зі стиснутим метаном утворюються метано-повітряна хмара радіусом до 23,6 м та іскри, що викликають дефлаграційний вибух з виникненням вогневої кулі радіусом до 6,8 м. У зв'язку з відносно невеликою швидкістю розповсюдження

вогневої кулі (до 3 м/с) ударна хвиля не виникає, але теплової енергії, яка виділяється при згорянні метано-повітряної суміші достатньо для загоряння речовин та будівельних матеріалів, які на момент вибуху знаходяться у зоні її впливу.

Виявлені особливості динаміки вибуху балонів зі стиснутим метаном повинні враховуватися в системі забезпечення пожежної та техногенної безпеки об'єктів, на яких вони експлуатуються.

ЛІТЕРАТУРА

1. Газобаллонные автомобили: Справочник / А.И. Морев, В.И. Ерохов, Б.А. Бекетов и др. – М.: Транспорт, 1992. – 175 с.
2. Таубкин С.И. Пожар и взрыв, особенности их экспертизы. - М, 1999. - 600 с.
3. Тарахно О.В. Теоретичні основи пожежовибухонебезпеки: Підручник. – Харків: АЦЗУ, 2006. – 395 с.
4. Тарахно О.В. Проблемні питання дослідження вибухів газоповітряних сумішей при проведенні пожежно-технічних експертиз / О.В. Тарахно, В.М. Сирих, Р.В. Тарахно // Проблемы пожарной безопасности. – Х.: УГЗУ, 2009.– Вып. 25. – С. 175-180.
5. Баратов А.Н. и др. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средств их тушения: Справ. Изд.: в 2 книгах. – М., Химия, 1990. кн. 1. – 496 с. кн. 2. – 384 с.

В.Н. Сырых, А.В. Васильченко

Оценка пожарной опасности при взрыве метанового баллона

Рассчитаны параметры взрывов метано-воздушной смеси и проанализирована пожарная опасность при повреждении метановых баллонов автотранспортных средств.

Ключевые слова: метан, баллон, метано-воздушная смесь, взрыв.

V.N. Syryh, A.V. Vasilchenko

Estimation of the fire danger in the explosion of the methane cylinder

The calculated parameters of explosions of methane-air mixture and analyzed fire hazard if damaged CNG cylinders of the vehicles.

Keywords: methane, gas cylinder, methane-air mixture, explosion.