

УДК 621.59 (075.8)

М.В. Білошицький, А.В. Пруський

Інститут державного управління у сфері цивільного захисту, Київ

ЩОДО ВЖИВАННЯ ТЕРМІНІВ «ВИБУХ КИСНЕВОГО БАЛОНА», «ВИБУХ ГАЗОВОГО БАЛОНА»

Розглянуто питання застосування термінів «вибух кисневого балона», «вибух газового балона» з погляду процесів горіння. Розмежовано випадки розривання балонів по причині підвищення тиску в них від нагрівання балонів і газів в них до критичних значень щодо механічної міцності балонів, і вибуху газокисневого горючого середовища в балонах.

Ключові слова: горіння, вибух, вибух газового балона, вибух кисневого балона, горюче середовище, нижня (верхня) концентраційна межа займання (поширення полум'я).

Вступ

Постановка проблеми. У засобах масової інформації під час подавання інформації про пожежі і вибухи з участю газових і кисневих балонів вживають терміни «вибух кисневого балона», «вибух газового балона». Майже в усіх випадках ці терміни вживаються невірно.

Формулювання мети роботи. Розглянути з наукової точки зору процеси горіння і один із варіантів процесу горіння – вибух. Конкретизувати терміни «вибух кисневого балона», «вибух газового балона».

Виклад основного матеріалу

Згідно з [1] горіння – це екзотермічний процес, який охоплює окисно-відновні перетворення речовин і (або) матеріалів і характеризується наявністю летких продуктів і (або) світлового випромінювання. Інші аналогічні трактування терміну горіння: горіння – це процес окиснення горючої речовини, яка перебуває в газоподібному, або пароподібному, або твердому стані киснем повітря, який супроводжується виділенням тепла, високою температурою, леткими продуктами процесу окиснення і (або) світловим випромінюванням; горіння – це екзотермічна реакція окиснення речовини, яка супроводжується виділенням диму та (або) виникненням полум'я й (або) свіченням. Для горіння необхідно, щоб були дві речовини: окисник (окиснює) і відновник (відновлюється, згоряє).

Процес горіння супроводжується утворенням вогню, полум'я.

Вогонь – це об'ємна мінлива композиція розжарених речовин, які перебувають у процесі горіння.

Полум'я – це вогонь, який складається із аерозольних і (або) газоподібних речовин, що випромінюють світло.

Зона полум'яного горіння – простір, в якому відбувається полум'яне горіння.

Фронт полум'я – зовнішня межа зони полум'яного горіння.

Поширювання горіння – переміщення зовнішньої межі зони горіння.

Дифузійне горіння – горіння за умов, коли горюча речовина і окисник розділені зоною горіння, наприклад, горіння газу у пальнику газової плити. Швидкість такого горіння лімітується швидкістю дифузії кисню до зони горіння.

Кінетичне горіння – горіння горючого середовища без дифузійних обмежень. Кінетичне горіння зазвичай супроводжується вибухом.

Дефлаграційне горіння – кінетичне горіння, за якого швидкість горіння не перевищує швидкості звуку. Швидкість звуку у повітрі – 343,1 м/с.

Детонаційне горіння – кінетичне горіння, за якого швидкість поширювання горіння перевищує швидкість звуку (порядку тисяч м/с).

Вибух (газоповітряного, пароповітряного або пилоповітряного горючого середовища) – це надзвичайно швидке проходження хімічної реакції горіння (кінетичне горіння), за якого виділяється велика кількість енергії, утворюються стиснуті гази, які здатні виконувати механічну роботу, наприклад, руйнувати будівельні конструкції.

Під час вибуху відбувається виділення великої кількості енергії за короткий проміжок часу. Вибухонебезпечна суміш у процесі вибуху, при якому відбувається виділення енергії, перетворюється у сильно нагрітий газ (продукти горіння) з високим тиском. Цей газ з великою силою діє на навколишнє середовище, визиваючи утворення вибухової хвилі яка руйнує будівельні конструкції. По мірі віддалення від місця вибуху, механічна дія вибухової хвилі слабне (зменшується).

Горіння виникає за одночасної наявності трьох основних (наявність горючої речовини, окисника і джерела запалювання) і деяких додаткових умов (основні з них: концентрація і співвідношення компонентів, температура, кількість тепла, швидкість реакції горіння). При цьому, горюча речовина та окисник повинні знаходитися в необхідному спів-

відношенні один до одного і утворювати, таким чином, горюче середовище, а джерело запалювання повинно мати певну енергію та температуру, достатню для ініціювання реакції горіння. На процес горіння впливають хімічні, фізичні і теплові чинники. Тільки тоді, коли ці чинники відповідають певним критеріям, можливе проходження хімічної реакції горіння. У 1955 році академік М.М. Семенов отримав Нобелівську премію по фізиці за дослідження процесів горіння і розробку теорії процесів горіння.

Горюче середовище – це суміш горючої речовини і окисника (кисню повітря), що здатна самостійно горіти після видалення джерела запалювання. Горючі су-

міші, залежно від співвідношення горючої речовини та окисника, поділяються на *бідні* і *багаті*. В бідних має місце надлишок окисника, у багатих – горючої речовини. Для повного згорання речовини та матеріалів у повітряному середовищі необхідна присутність достатньої кількості кисню, щоб забезпечити повне перетворення горючої речовини в її насичені оксиди. При недостатній кількості повітря окиснюється тільки частина горючої речовини. Залишок розкладається з виділенням великої кількості диму (сажа і інші продукти неповного згорання). При цьому також утворюються токсичні речовини, серед яких – оксид вуглецю (СО), який може призвести до отруєння людей.



Рис. 1. Фотографії горіння пароповітряного горючого середовища (суміш парів бензину з повітрям) і парогазоповітряного горючого середовища (суміш газів і пароподібних продуктів термічного розкладу деревини з повітрям)

Згідно з [2] нижня і верхня концентраційна межа займання (поширення полум'я) – це мінімальний або максимальний вміст горючої речовини у суміші горюча речовина – окиснювальне середовище, за якого можливе поширення полум'я по суміші на любую віддал від джерела запалювання. У літературі ці показники ще називають межами вибуховості, межами запалювання. Під час випробувань визначають концентрацію горючого компонента, за якої полум'я поширюється на весь об'єм реакційної посудини від джерела запалювання, а при концентрації на 0,1 % (об) менше (у випадку визначення нижньої межі) або більше (у випадку визначення верхньої межі) суміш не займається або полум'я, що виникло, не поширюється до верхньої частини реакційної посудини.

На рис. 2 наведено пояснення утворення горючого середовища.

Займання і горіння горючої суміші можливе тоді, коли концентрація горючої речовини у суміші знаходиться у межах між значеннями нижньої і верхньої концентраційних меж займання, тобто у межах горючого середовища. Якщо ж концентрація горючої речовини у суміші менше значення нижньої концентраційної межі займання, тобто у нас наявні бідні суміші, то у нас горіння не буде, не будуть виконуватися необхідні умови для проходження процесу горіння (хімічні, фізичні і теплові).

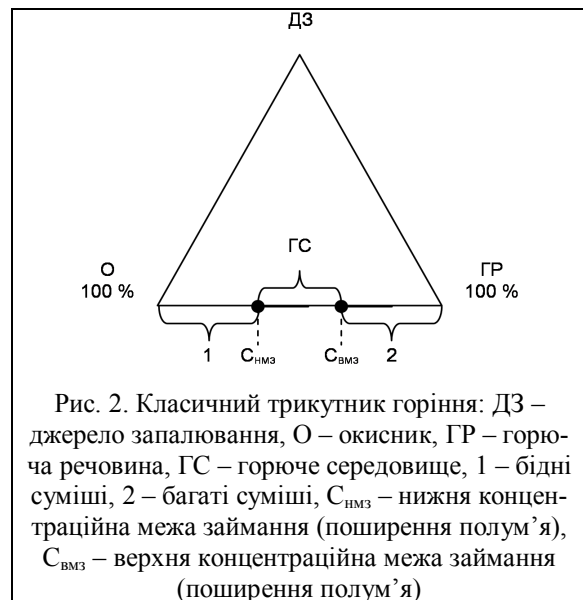


Рис. 2. Класичний трикутник горіння: ДЗ – джерело запалювання, О – окисник, ГР – горюча речовина, ГС – горюче середовище, 1 – бідні суміші, 2 – багаті суміші, $C_{НМЗ}$ – нижня концентраційна межа займання (поширення полум'я), $C_{ВМЗ}$ – верхня концентраційна межа займання (поширення полум'я)

Також горіння не буде у випадку наявності багатих сумішей у яких концентрація горючої речовини більше значення верхньої концентраційної межі займання.

Необхідно відмітити, що для пилоповітряних горючих сумішей визначається тільки значення нижньої концентраційної межі займання, значення верхньої концентраційної межі займання в умовах випробувань досягти не вдається, пил під дією сил

тяжіння осідає на дно реакційної посудини.

Усі ці закономірності чітко виконуються для гомогенізованих сумішей, у яких концентрація компонентів у всіх точках об'єму однакова. Якщо ж концентрація горючої речовини у різних зонах об'єму посудини (приміщення) не однакова (горюча суміш не гомогенізована), то у певній частині об'єму може утворитися горюче середовище, яке за наявності відповідного джерела запалювання може зайнятися і вибухнути. Розрахунками встановлено, що тільки якщо не більше ніж у 5% об'єму приміщення концентрація горючої речовини буде мати значення, рівне значенню нижньої концентраційної межі займання, то таке приміщення буде вибухобезпечним. Якщо ж об'єм приміщення, у якому концентрація горючої речовини буде мати значення, рівне значенню нижньої концентраційної межі займання, буде більший за 5% від загального об'єму приміщення, то таке приміщення може відноситись до вибухонебезпечних [3].

Розрізняють гомогенне і гетерогенне горіння. Гомогенне горіння зустрічається на пожежах частіше. При гомогенному горінні обидва реагенти (горюче і окисник) знаходяться у газовій (паровій) фазі. Гомогенне горіння відбувається не тільки тоді коли горять горючі гази або пара горючих рідин, але і при горінні більшості твердих горючих матеріалів (проходить термічний піроліз твердих горючих речовин, виділяються горючі гази і пари, які і горять гомогенним горінням (горіння деревини)).

У табл. 1 наведено значення нижньої і верхньої концентраційних меж займання для деяких газів і парів рідин.

Таблиця 1
Значення нижньої і верхньої концентраційних меж займання

Речовина	$C_{нмз}, \% (об.)$	$C_{вмз}, \% (об.)$
Ацетон	2,6	12,8
Ацетилен	2,5	81,1
Водень	4,1	74,2
Пропан	2,3	9,4
Бутан	1,8	8,5
Бензин	0,96	4,96
Метан	5,3	14
Аміак	15	28
Бензол	1,43	8

Гетерогенне горіння проходить тоді, коли горюче знаходиться у твердому стані, а окисник – у газоподібному, і реакція окиснення горючого відбувається на поверхні твердої фази. Молекули горючого до початку окиснення не залишають твердої фази, а легко рухливі молекули газоподібного окисника поступають до молекул горючого і вступають з ним в екзотермічну реакцію горіння, утворюючи оксид. Продукт неповного згоряння (CO) або продукт горіння (CO₂) є гази, не залишаються

зв'язаними в межах твердої фази, а, залишаючи її, виходять за її межі, у першому випадку доокиснюючись у газовій фазі до CO₂, а у другому – видаляючись з димовими газами. Так, наприклад, горить вуглець у шарі вугілля, перевуглецьований залишок деревини (жар), що утворюється після температурного піролізу деревини. Полум'я при гетерогенному горінні немає, є інтенсивне світлове випромінювання (жар деревини, розжарені куски вугілля).

Зважаючи на сказане вище, вибух кисневого чи газового балона (з точки зору проходження в балоні хімічної реакції окиснення горючої речовини) за умови, що у балоні знаходиться тільки кисень або тільки горючий газ, не можливий. У балоні знаходиться тільки окисник (кисень у кисневому балоні) або відновник (горючий газ у газовому балоні), тому ніяка хімічна реакція горіння у об'ємі балона не проходить. Відповідно і вибуху не може бути.

Матеріал корпусу балона (залізо) у процесі експлуатації може кородувати, товщина стінок балону зменшуватись, можуть бути механічні пошкодження балонів у процесі експлуатації і такі балони під час гідравлічних випробувань, або під час закачування у них газів можуть руйнуватись (розриватись). При руйнуванні з'являються тріщини корпусу балонів, можуть відколотися великі куски корпусу. За звуковими ознаками процес руйнування балонів схожий на вибух.

Балони можуть руйнуватись (розриватись) під час значного нагрівання газу в них під час занесення їх з холодного приміщення в тепле, та ще й розміщення їх біля батарей опалювання і, внаслідок цього, збільшення тиску в них вище випробувального. Такий випадок був у січні 2013 року в Харкові, коли балони закачали горючим газом на холоді до певного тиску, а потім занесли в житлове приміщення, розмістили на кухні біля батареї, балон від підвищення тиску за рахунок нагрівання газу в ньому, розгерметизувався, розірвався, газ вийшов в об'єм приміщення, утворилось горюче середовище, при займанні якого стався вибух і був зруйнований житловий будинок.

Для апаратів з газами існує пропорційна залежність між температурою і тиском:

$$P_k = P_n \frac{T_k}{T_n},$$

де P_n, P_k – початковий і кінцевий тиск в апараті, Па; T_n, T_k – початкова і кінцева температура, К.

Приклад. Газовий балон з метаном занесли в опалюване приміщення і поставили біля батареї центрального опалювання. Через деякий час газ в балоні нагрівся до 360 К (87 °С). Необхідно визначити тиск в балоні P_k і дати оцінку небезпеки його пошкодження, якщо $T_n = 250$ К (–23 °С), $P_n = 15$ МПа (150 атм). Балон перевірявся за випробувального тиску 19 МПа (190 атм).

$$P_k = \frac{15 \cdot 360}{250} = 22,5 \text{ МПа} > 19 \text{ МПа}.$$

У результаті нагрівання газу у балоні тиск збільшується до значень, більших за випробувальний, і балон може розірватися.

У [4] наводиться інформація про причини руйнування і вибухів кисневих балонів. Руйнування кисневих балонів проходить за причинами тривалої експлуатації, корозії стінок, особливо коли у балоні наявна волога (після гідравлічних випробувань, заправка вологим киснем).

Розслідування вибухів кисневих балонів з залученням фахівців заводу-виробника балонів, представників різних інститутів, експертів, а також проведення аналізів осколків, у всіх випадках приводили до висновків, що вибухи відбувалися у результаті займання всередині балона суміші кисню і горючого газу (пропан, метан, ацетилен). При миттєвому займанні вибухонебезпечної газової суміші утворюється надвисокий тиск у 100–200 МПа, який і приводить до вибуху балону. Такий вибух схожий на вибух авіабомби. Вибух такої газокисневої суміші у кисневому балоні, мабуть, стався у лікарні м. Луганська.

Під час вибуху газонебезпечної суміші всередині балону він руйнується на дрібні осколки, дно і горловина відриваються від корпусу. Підключений до балону редуктор зазвичай руйнується зі сторони камери високого тиску, сильфонна трубка манометра високого тиску розривається. Частина балону, що вибухнув, знаходять за сотні метрів від місця вибуху.

Основні причини, за якими у кисневі балони можуть потрапити горючі гази і утворитися горюче середовище:

а) використання споживачем кисневих балонів не за призначенням, з наступним здаванням їх на кисневий завод для заповнення;

б) попадання горючого газу під час експлуатації через різак (якщо мундштук закупорений) в кисневий балон за умови, що тиск в ньому або відсутній, або нижче ніж в газовому балоні.

Основною умовою виключення вибухів кисневих балонів є недопущення попадання в них горючого газу. «Типова інструкція по охороні праці при наповненні кисневих балонів і поводженні з ними у споживачів» [5] і доповнення до неї [6] є обов'язковими до виконання.

Перед заправкою кисневих балонів необхідно визначати в них наявність залишкового тиску і у струмені газу із балону перевіряти наявність горючого газу з допомогою газоаналізаторів [6, 7].

У споживачів кисневих балонів повинно бути передбачене обов'язкове установлювання на різаку (пальнику) вогнеперешкоджувальних клапанів (кисень, горючий газ) для недопущення зворотного удару і перетікання одного газу в інший [8].

У балонах з горючими газами вибухонебезпечна газоповітряна суміш практично утворитися не може, у балоні міститься тільки горючий газ, повітря (кисню) немає, тому і вибуху газового балона бути не може. Газовий балон може розірватися, якщо він попадає у зону пожежі і нагрівається до температур вище 100 °С. Тиск у балоні, за рахунок теплового розширення газу, піднімається вище критичних значень, балон розривається і газ із нього виходить у оточуюче середовище. При цьому можливі два варіанти подальшого розвитку ситуації.

Перший варіант. Газ виходить у оточуючий простір, де є полум'я або нагріті поверхні до температури, більше температури самозаймання газу. При цьому газ займається і буде горіти, інтенсивність горіння пожежі різко збільшується.

Другий варіант. Газ виходить у оточуючий простір, де немає полум'я або високонагрітих поверхонь. Газ буде змішуватися з повітрям, концентрація його у газоповітряній суміші буде збільшуватися до значень нижньої концентраційної межі займання (утворення горючого середовища), і, при появі джерела запалювання, відбудеться займання і вибух.

Практично усі вибухи газу у приміщеннях проходять за другим варіантом. Причини надходження газу у об'єм приміщення можуть бути різні: потухло полум'я газової плити (закипіла вода, перелилася через край посудини, попала на нагріту поверхню плити, випарувалася і паром гаситься полум'я), не повністю закритий вентиль газового балона і газ повільно надходить до приміщення, пошкодження газових трубопроводів і т.ін.

Вибух у напівпідвальному приміщенні 9-ти поверхового житлового будинку у Дніпропетровську в 2009 році найбільш імовірно проходив за наступним сценарієм. У приміщенні зберігалися балони з горючим газом і з киснем. У приміщенні працював холодильник. Один з газових балонів не був герметично закритий. Газ надходив до об'єму приміщення. Коли концентрація газу у приміщенні досягла значення нижньої концентраційної межі займання, енергії іскри термореле, яке вмикає-вимикає холодильник, було достатньо щоб підпалити горюче середовище, стався вибух. Усі балони після пожежі були цілі.

У табл. 2 наведено значення нижньої концентраційної межі займання у % (об) і у кг/м³ для ацетилену, метану, пропану і бутану і розраховане значення тиску вибуху газоповітряної суміші з концентрацією газу рівною значенню нижньої концентраційної межі займання. Розрахунок виконано згідно з [9].

Якщо концентрація газу у всьому об'ємі буде мати значення рівне значенню нижньої концентраційної межі займання, то надлишковий тиск вибуху буде мати значення, що наведено у табл. 2. Якщо ж концентрація газу буде мати значення нижньої концентраційної межі займання тільки у частині об'єму приміщен-

ня, то величина надлишкового тиску вибуху буде мати значення рівне добутку надлишкового тиску вибуху, наведеного у табл. 2, на величину значення частини об'єму, у якому концентрація газу рівна значенню нижньої концентраційної межі займання.

Таблиця 2

Значення нижньої концентраційної межі займання для ацетилену, метану, пропану і бутану і розраховане значення надлишкового тиску вибуху газоповітряної суміші з концентрацією газу, рівною значенню нижньої концентраційної межі займання

Газ	Значення нижньої концентраційної межі займання		Надлишковий тиск вибуху, ΔP
	% (об)	кг/м ³	кПа
Ацетилен	2,5	0,0271	49,6
Метан	5,28	0,0352	56,8
Пропан	2,3	0,0422	71,7
Бутан	1,8	0,0435	72,3

Необхідно відмітити, що за тиску ΔP ≈ 28 кПа будівля стає непридатна до використання, відбудові не підлягає.

За тиску ΔP = 50 кПа руйнуються капітальні будівельні конструкції (цегляні стіни товщиною до 51 см, бетонні стіни товщиною до 26 см).

Висновки

До застосування термінів «вибух газового балона», «вибух кисневого балона» необхідно підходити з обережністю.

Газові балони в умовах пожежі розриваються від підвищення тиску в них, з наступним інтенсивним горінням газу, що виходить із балона. У таких випадках вірніше говорити, що газовий балон розірвався від підвищення тиску в ньому при нагріванні балону з газом теплом пожежі. Розривання балону за звуковими ознаками схоже на вибух, тільки при цьому немає дрібних осколків балону, які супроводжують вибух горючого середовища в кисневих балонах.

Якщо ж газ із балона виходить в об'єм приміщення, то в об'ємі приміщення утворюється горюче середовище при займанні і вибуху якого розвивається

надлишковий тиск вибуху, який приводить до руйнування будівельних конструкцій. У таких випадках вірно говорити, що вибухнув не газ, а вибухнуло газоповітряне горюче середовище. Кисневі балони в умовах пожежі можуть нагрітися до критичних значень температур і розірватися. Кисень, що вийде із балона, призведе (короткочасно) до більш інтенсивного горіння горючих матеріалів на пожежі.

Кисневі балони вибухають тоді, коли всередині них утворюється газокисневе горюче середовище внаслідок порушень інструкцій заряджання або використання них. У таких випадках вірно говорити, що вибухнув кисневий балон з газокисневою сумішшю.

Список літератури

1. ДСТУ 2272:2006 «ССБП. Пожежна безпека. Терміни та визначення основних понять».
2. *Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: Справ. изд.: в 2 книгах; кн. 1 / А.Н. Баратов, А.Я. Корольченко, Г.Н. Кравчук и др. – М.: Химия, 1990. – 496 с.*
3. Білошицький М.В. Розбіжність у визначенні пожежної небезпеки виробничих процесів та приміщень за показниками нижньої концентраційної межі займання і розрахунковим надлишковим тиском вибуху / М.В. Білошицький // Науковий вісник УкрНДІПБ. – 2009. – № 2 (20). – С. 91-98.
4. Чижиченко В.П. Взрывобезопасность кислородных баллонов / В.П. Чижиченко // Технические газы. – 2009. – № 6. – С. 64-65.
5. Типовая инструкция по охране труда при наполнении кислородом баллонов и обращении с ними к потребителям. – М.: ОАО «Гипрокислород», 1991.
6. Инструкция по проверке остаточного газа в кислородных баллонах сигнализатором СПГ-4М-3 (или аналогичным) с приспособлением.
7. Александров Л.К. Правила безопасности при наполнении кислородом баллонов и обращении с ними у потребителей / Л.К. Александров // Технические газы. – 2001. – № 3. – С. 58-61.
8. НПА ОП 0.00-1.20-98. Правила безпеки систем газопостачання України.
9. НАПБ Б.03.002-2007. Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпечкою.

Надійшла до редколегії 30.08.2013

Рецензент: д-р техн. наук, с.н.с. С.І. Азаров, Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ.

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕРМИНОВ «ВЗРЫВ КИСЛОРОДНОГО БАЛЛОНА», «ВЗРЫВ ГАЗОВОГО БАЛЛОНА»

Н.В. Белошицкий, А.В. Прусский

Рассмотрен вопрос использования терминов «взрыв кислородного баллона», «взрыв газового баллона» с точки зрения процессов горения. Разделены случаи разрывания баллонов по причине повышения давления в них от нагревания баллонов и газов в них до критических значений механической прочности баллонов, и взрыва газокислородной среды в баллонах.

Ключевые слова: горение, взрыв, взрыв газового баллона, взрыв кислородного баллона, горючая среда, нижний (верхний) концентрационный предел воспламенения (распространение пламени).

ABOUT THE USE OF TERMS «EXPLOSION OF OXYGEN BULB», «EXPLOSION OF GAS BOTTLE»

N.V. Beloshitsky, A.V. Prusskiy

The question of use of the terms «explosion of an oxygen cylinder», «explosion of a gas cylinder» from the point of view of burning processes is considered. Cases of a breaking of cylinders because of pressure increase in them from heating of cylinders and gases in them to critical values of mechanical durability of cylinders, and explosion of the gas-oxygen environment in cylinders are divided.

Keywords: burning, explosion, explosion of gas bottle, explosion of oxygen bulb, combustible environment, lower (overhead) concentration limit of self-ignition (distribution of flame).