

## **ОЦІНКА УРАЖАЮЧИХ ФАКТОРІВ ПРИ ВИБУХУ КИСНЕВОГО БАЛОНА**

Розглянуто уражаючі фактори від вибуху кисневого балона. Наведено основні причини виникнення аварійних ситуацій за участю кисневих балонів. Розраховано кількісну оцінку вибухонебезпеки залежно від різної кількості кисневих балонів. Визначено радіуси зон руйнування та ураження людей у разі вибуху одного кисневого балона. При цьому аварія може переходити на рівень "Б" і "В". Наведено дані щодо розмірів уламків, які утворюються при розриві різної кількості кисневих балонів.

*Ключові слова:* кисневий балон, кисень, вибух, аварійна ситуація, уражаючі фактори, надлишковий тиск, енергетичний потенціал, радіус зони ураження, ударна хвиля.

**Постановка проблеми.** У приміщеннях та на територіях складів зберігається значна кількість балонів з киснем, які можуть бути потужним джерелом можливого вибуху і виникнення пожежі. Спричинені цим руйнування і вимушені перебої в роботі підприємства завдають значних матеріальних збитків [1]. Слід також враховувати, що всі роботи, які пов'язані з переміщенням балонів, належать до важких [2]. Ці обставини і проблеми зумовили необхідність створення спеціальних норм і правил техніки безпеки [3], протипожежної безпеки [4], виконання яких є обов'язковим під час вибору місця для складу, його проектування, залежно від режиму зберігання балонів і характеру операцій на складі.

Під час транспортування, зберігання, роботи з киснем (у тому числі і з рідким), можливі вибухи, що призводять до повного руйнування обладнання і до важких травм персоналу. Тому роботи, які спрямовані на гарантування вибухобезпеки робіт з киснем і прогнозування наслідків аварійних ситуацій з метою розробки профілактичних заходів, є досить актуальними.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Основні небезпеки, які властиві кисневим балонам, зумовлені небезпечними властивостями стисненого кисню та його кількістю в одному балоні [5]. У промисловості зібрано масу практичних даних про випадки загорянь і вибухів під час одержання, зберігання й використання кисню, а також про заходи, які спрямовані на боротьбу з ними.

Кисень є дуже активним окислювачем і при контакті з більшістю речовин і матеріалів утворює горючі суміші підвищеної вибухо- і пожежонебезпеки [6].

Волога, що міститься у газоподібному кисні, конденсується в балоні і викликає значну корозію металу балона [7]. Крім того, наявність вологи сприяє замерзанню запірних вентилів, а також утворенню зарядів статичної електрики.

Відомо багато випадків загорянь, причиною яких була небезпека контакту використаних матеріалів з киснем. Проблема пожеж і вибухів у таких системах може бути повністю вирішена лише в тих випадках, коли горючі речовини будуть наявними в кількостях, за яких виключається початок горіння.

Під час роботи з киснем насамперед потрібно зважати на підбір матеріалів і не допускати можливості контактування з киснем легкозаймистих предметів і матеріалів [8]. Підвищену пожежну небезпеку становлять різні теплоізолювальні речовини (перліт і аерогель), які застосовуються у низькотемпературному обладнанні.

У практиці експлуатації блоків розділення повітря, кисневих станцій, складів зберігання кисневих балонів відомі випадки виникнення вибухів [9], причиною яких були витоки рідкого кисню через нещільності в апаратах і балонах з наступним утворенням вибухонебезпечної суміші "рідкий кисень – органічна речовина".

Під час аналізу статистичних даних про аварійні ситуації за участю кисневих балонів можна зробити такі висновки:

1) у збагаченій киснем атмосфері знижується межа початкової енергії спалаху, з якої можливий початок горіння речовини [10];

2) при підвищенні тиску кисню швидкість горіння речовини збільшується прямо пропорційно до концентрації кисню [11];

3) матеріали, які вважаються за нормальних умов такими, що не горять, здатні до горіння у разі надлишку кисню;

4) у разі надлишку кисню ускладнюється гасіння пожежі;

5) деякі речовини, які використовують для гасіння пожежі, за надлишку кисню під час гасіння можуть утворювати паро- і газоподібні токсичні речовини.

Встановити причину вибуху кисневого балона чи обладнання з наявністю кисню досить складно, а в деяких випадках – неможливо. Проте слід зазначити, що причиною таких аварій майже завжди є одна – контакт газоподібного кисню з органічними речовинами у поєднанні з будь-якими іншими небезпечними факторами (температура, тиск, детонація, іскри тощо) [11].

**Мета.** Оцінити уражаючі фактори ударної хвилі під час вибуху кисневого балона.

**Виклад основного матеріалу.** На даний час для зберігання і перевезення зріджених вуглеводневих газів, включаючи і кисень, з подальшою передачею споживачеві зазвичай експлуатуються балони ємністю 40 л. В балоні зберігається 6,2 м<sup>3</sup> кисню під тиском 14,7 МПа (150 атм.) [12]. Чистий кисень (рідкий або газоподібний) і його суміші з повітрям не є токсичними й не здатні до самовільного горіння або вибуху. Завдяки своїй хімічній активності кисень легко створює хімічні сполуки з усіма відомими елементами, за винятком інертних газів, фтору і благородних металів. Швидкість реакції окислення значно збільшується при підвищенні температури. З горючими газами (воднем, метаном, ацетиленом, аміаком тощо) кисень утворює вибухонебезпечні суміші.

Швидкість горіння речовин і матеріалів у кисні (рідкому і газоподібному) є у 10-100 разів вищою, ніж на повітрі. Особливо великі швидкості горіння органічних сполук.

Відомо [5], що кисень вибухає за наявності слідів масла. Якщо дотримуватись теорії вибуху як швидкого горіння палива в кисні, то теплота реакції слідів масла ніколи не відповідатиме енергії вибуху кисню. У цьому й парадокс: мізерна кількість палива (тротиловий еквівалент у мікрограмах), і в той самий час – величезна енергія вибуху. Отже, кисень вибухає сам по собі? Якщо нехтувати мізерною кількістю слідів масла, то крім самого кисню у первинному до вибуху середовищі нічого немає.

Загоряння балонів з киснем (наприклад на складі) можливе у таких випадках [13]:

- використання під час ремонту арматури деталей, не дозволених для роботи в середовищі кисню;
- попадання жирових і масляних забруднень на поверхню контакту з киснем;
- застосування незнежирених прокладок і деталей вентиля під час його заміни;
- наявність джерел загоряння (відкрите полум'я, розряд статичної електрики, потрапляння на внутрішню поверхню балона жирових і масляних забруднень);
- наповнення киснем балонів, які не пройшли своєчасного огляду.
- падіння балонів й удари по них.

Кількісну оцінку показників безпеки балонів зі стисненим киснем ємністю 40 л (0,04 м<sup>3</sup>) наведено в табл. 1 (розрахунок виконано згідно з методикою [14]), а схематичне зображення радіусів зон руйнування по фронту ударної хвилі – на рис. 1 (в якості прикладу наведено склад зберігання кисневих балонів).

В результаті помилок обслуговуючого персоналу можливі механічні пошкодження балона з порушенням його герметичності. При цьому можливий вихід тиску в балоні за межі критичних значень, який створює навантаження на матеріал балонів, що перевищує їх характеристики міцності. Візуально виявити витоки кисню з балона можна за свистом (шумом) або за обмерзанням стінок балона [15].

Велику небезпеку становить розгерметизація балона, коли викид кисню призведе до утворення вибухонебезпечної суміші кисню з органічною речовиною.

Перехід аварійної ситуації в аварію (рис. 1) (вибух кисню внаслідок розгерметизації балона) становить небезпеку не тільки своїми масштабами, але й можливістю поширення аварії на блок зберігання балонів з киснем. Не виключено й “ланцюгового” характеру розвитку аварії із залученням деяких чи навіть усіх наповнених балонів складу.

Кількісна оцінка показників небезпеки балонів зі стисненим киснем

№ з/п	Назва параметра	Показники при аварії балонів			
		1 балон	8 балонів	16 балонів	48 балонів
1	Енергетичний потенціал вибухонебезпеки $E$ , кДж	$4,01 \cdot 10^5$	$3,2 \cdot 10^6$	$6,4 \cdot 10^6$	$19,3 \cdot 10^6$
2	Відносний енергетичний потенціал вибухонебезпеки $Q_v$ , кДж	4,46	8,92	11,2	16,2
3	Загальна приведена маса газоповітряної суміші $m$ , кг	8,7	69,7	139,1	418,4
4	Тротиловий еквівалент вибуху $W_T$ , кг	39,3	315,4	629,3	1893
5	$R_1$ , м	3,0	12,0	18,9	37,6
6	$R_2$ , м	4,4	17,6	27,8	55,4
7	$R_3$ , м	7,6	30,2	47,6	95,0
8	$R_4$ , м	22,0	88,1	138,9	277,0
9	$R_5$ , м	44,0	176,2	277,9	554,0

Примітка:  $R_1$  – радіус зони повного руйнування будівель і смертельної небезпеки для людей ( $\Delta P \geq 100$  кПа);  $R_2$  – радіус зони сильних руйнувань будівель і смертельної небезпеки для людей ( $\Delta P = 70$  кПа);  $R_3$  – радіус зони слабких руйнувань будівель і смертельної небезпеки для людей на відкритій місцевості ( $\Delta P = 28$  кПа);  $R_4$  – радіус зони слабких руйнувань і важкого травмування людей на відкритій місцевості ( $\Delta P = 14$  кПа);  $R_5$  – радіус зони часткового руйнування скла, нижній поріг ураження людей на відкритій місцевості ( $\Delta P \leq 2$  кПа); у вибуху задіяна вся кількість газу ( $z = 1$ )

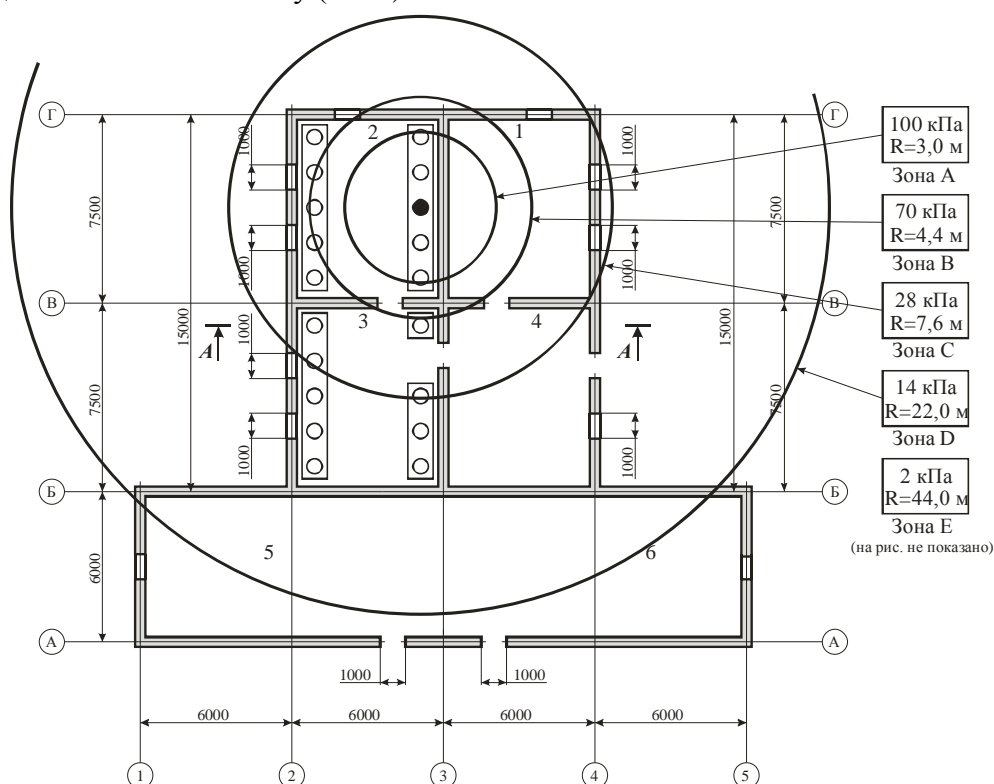


Рис. 1. Радіуси зон руйнування за фронтом ударної хвилі під час вибуху одного кисневого балона (на прикладі складу кисневих балонів):

1 – наповнювальне відділення; 2 – склад наповнених балонів; 3 – склад порожніх балонів; 4 – склад деталей та інвентарю; 5 – механічно-ремонтне відділення; 6 – гардероб

У разі вибуху балона або групи балонів зі стисненим киснем зона впливу уражаючих факторів аварії з рівнів “А” і “Б” (аварія в межах одного структурного підрозділу і в межах підприємства) може поширюватися за межі території підприємства з переходом на рівень “В”. При цьому виникає ймовірність дії уражаючих чинників на населення довколишніх районів і на навколишнє середовище.

Під час вибуху кисневого балона можливе його руйнування на уламки та їх розлітання у різні напрямки. Відомо [16], що в початковий момент вибуху в самому епіцентрі вибуху може виникати надвисокий тиск 100-200 МПа, який і призводить до розриву балона. При цьому початкова швидкість розльоту уламків оболонки кисневого балона може досягати 600 м/с, а радіус їх розлітання – до 320 м. Оцінку кількісних показників уламків внаслідок руйнування кисневих балонів зведено в табл. 2.

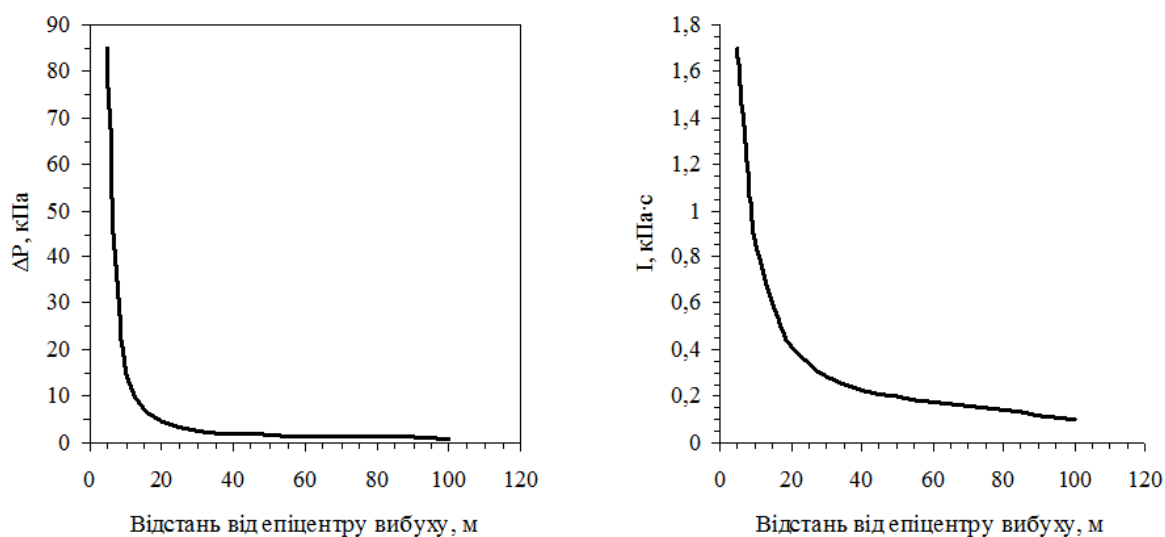
**Таблиця 2**

*Оцінка кількісних показників уламків внаслідок руйнування балонів зі стисненим киснем*

№ з/п	Назва параметра	Кількість уламків при руйнуванні одного балона, шт.	Кількість уламків при руйнуванні 16 балонів, шт.	Маса одного уламка, кг
1	Відношення діаметра уламка до товщини стінки: $d_1 / d = 30$	57	903	0,8
2	Відношення діаметра уламка до товщини стінки: $d_1 / d = 35$	42	663	1,0
3	Відношення діаметра уламка до товщини стінки: $d_1 / d = 45$	32	508	1,4

Небезпечні для людей уражаючі параметри вибуху, такі як надлишковий тиск вибуху у фронті ударної хвилі  $\Delta P$  та питомий імпульс ударної вибухової хвилі  $I$ , під час вибуху кисневого балона мають найбільшу силу в районі до 10 м (рис. 2). В цій області існує максимальна ймовірність руйнування будівельних конструкцій, технологічних комунікацій, смертельного ураження людей та поширення аварії на інші кисневі балони.

На основі одержаних даних про надлишковий тиск  $\Delta P$  та питомий імпульс  $I$  виконано розрахунки значень ргобіт-функцій  $Pr_1$ - $Pr_s$  [17], на підставі яких оцінено ймовірності різного роду негативних впливів ударної хвилі на будівлі та людей (табл. 3).



**Рис. 2.** Зміна уражаючих чинників вибуху кисневого балона залежно від відстані до епіцентру вибуху

Результати оцінки небезпеки складу балонів з киснем обчислені за probit-функцією  $Pr_1-Pr_s$

Небезпечний об'єкт	Кількість балонів	Кількість уламків	Межа зони руйнувань, м			
			повних	сильних	середніх	слабких
Балони зі стисненим киснем	1	до 56	0,7	1,0	1,7	5,0
	16	до 903	4,3	6,4	10,9	31,8

**Примітка:** маса уламків – до 1,4 кг; початкова швидкість розльоту уламків оболонки балона – 420 м/с; максимальний радіус розльоту уламків балона – 225 м

На основі одержаних даних значень probit-функцій  $Pr_1-Pr_s$  встановлено, що ступінь повного руйнування будівлі на відстані до 5 м від епіцентру вибуху кисневого балона становить 31 %, ймовірність ураження людей зі смертельними наслідками становить 86 %, а ймовірність відкидання людини вибуховою хвилею на відстані від 40 м – 1 % (при цьому ймовірність ураження слухового апарату людини становить до 2,5 %).

**Висновки.** Отже, повне руйнування будівельних конструкцій при вибуху кисневого балона з ймовірністю 31 % відбудеться в радіусі до 1 м. Люди в радіусі до 5 м від епіцентру вибуху зазнають травм несумісних із життям. Уражаючі фактори вибуху, такі як надлишковий тиск вибуху у фронті ударної хвилі  $\Delta P$  та питомий імпульс ударної вибухової хвилі  $I$ , найбільш руйнівну дію проявляють в радіусі до 20 м від місця вибуху.

Зона впливу уражаючих факторів у разі вибуху балона або групи балонів зі стисненим киснем з рівнів “А” і “Б” може переходити на рівень “В” з ураженням сторонніх осіб за межами території підприємства.

#### Список літератури:

- 1. Чижиченко В. П.** Анализ причин взрыва кислородных баллонов, приведшего к групповому несчастному случаю / В. П. Чижиченко // Технические газы. – 2008. – № 6. – С. 62-64.
- 2. Чижиченко В. П.** Сборник нормативных документов в кислородной промышленности: справочное издание / В. П. Чижиченко. – К.: Охрана труда, 2001. – 519 с.
- 3. Правила будови та безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском (зі змінами та доповненнями):** ДНАОП 0.00-1.07-94. – [Чинний від 1995-03-01]. – К: Держспоживстандарт України, 1998. – 79 с.
- 4. Наказ МНС України від 19.10.2004 р. № 126** “Правила пожежної безпеки в Україні”.
- 5. Чижиченко В. П.** Анализ причин взрывов кислородных баллонов / В. П. Чижиченко // Технические газы. – 2004. – № 4. – С. 54-56.
- 6. Орленко Л. П.** Физика взрыва. Т. 1 / Л. П. Орленко. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 832 с.
- 7. Абдрахимов Ю. Р.** Повышение образовательного уровня населения по безопасному использованию баллонов с горючими газами / Ю. Р. Абдрахимов, А. Р. Закирова // Нефтегазовое дело. – 2013. – № 2. – С. 381-394.
- 8. Типовая инструкция по охране труда при наполнении кислородом баллонов и обращении с ними у потребителей.** – М.: ОАО “Типроокислород”, 1991.
- 9. Правила безопасности при производстве и потреблении продуктов разделения воздуха:** ПБПРВ-88. – М.: Металлургия, 1988. – 56 с.
- 10. Орленко Л. П.** Физика взрыва. Т. 2 / Л. П. Орленко. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 656 с.
- 11. Безвесільний В. Д.** Експертне визначення причин вибухів, пов'язаних з руйнуванням (розгерметизацією) газових балонів / В. Д. Безвесільний // Теорія та практика експертизи і криміналістики. – 2009. – Вип. 9. – С. 413-419 с.
- 12. Кислород газообразный технический и медицинский.** Технические условия: ДСТУ ГОСТ 5583:2009 (ИСО 2046-73). – [Введ. 2009-12-01]. – М: Госпотребстандарт, 2009. – 16 с.

13. Сергиенко В. А. О механизме взрыва кислородных баллонов / В. А. Сергиенко, И. И. Гуменшаймер // Сварщик. – 2006. – № 2. – С. 12-19.

14. **Пожаровзрывоопасность** веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения: ГОСТ 12.1.044-89. – [Введ. 1997-01-01]. – М: Стандартиформ, 2006. – 99 с.

15. 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.

16. Чижиченко В. П. Взрывобезопасность кислородных баллонов / В. П. Чижиченко // Технические газы. – 2009. – № 6. – С. 64-65.

17. **Методика оценки** последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей: РД 03-409-01. – [Введ. 2001-01-26]. – М: Стандартиформ, 2001. – 17 с.

*А.Б. Тарнавский*

### **ОЦЕНКА ПОРАЖАЮЩИХ ФАКТОРОВ ПРИ ВЗРЫВЕ КИСЛОРОДНОГО БАЛЛОНА**

Рассмотрены поражающие факторы в случае взрыва кислородного баллона. Приведены основные причины возникновения аварийных ситуаций с участием кислородных баллонов. Рассчитано количественную оценку взрывоопасности в зависимости от разного количества кислородных баллонов. Определены радиусы зон разрушения и поражения людей в случае взрыва одного кислородного баллона. При этом авария может переходить на уровень “Б” и “В”. Приведены данные относительно обломков, образующихся при разрыве разного количества кислородных баллонов.

**Ключевые слова:** кислородный баллон, кислород, взрыв, аварийная ситуация, поражающие факторы, избыточное давление, энергетический потенциал, радиус зоны поражения, ударная волна.

*А.В. Tarnavskyj*

### **EVALUATION OF OXYGEN CYLINDER EXPLOSION DAMAGING FACTORS**

The damaging factors in the oxygen cylinder explosion were analyzed in the article. The main causes of the emergency situation, where oxygen cylinders are involved were provided. We estimated the risk of explosion depending on different amounts of oxygen cylinders. We determined the radius of the damage area and people affection as the result of one oxygen cylinder explosion. Under such conditions accident can be moved to the level “B” and “C”. We outlined information about the debris sizes that appear after different amounts of oxygen cylinders explosion.

**Key-words:** oxygen cylinder, oxygen, explosion, emergency situation, damaging factors, overpressure, energetic potential, radius of the damage area, shock wave.

