

УДК 614.841.242

В.Л. Сидоренко<sup>1</sup>, С.І. Азаров<sup>2</sup><sup>1</sup>Інститут державного управління у сфері цивільного захисту УЦЗ України, Київ<sup>2</sup>Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

## РОЗРАХУНОК НАСЛІДКІВ ДІЇ ТЕПЛООВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ЛЮДИНУ ПРИ ВИБУХУ НА АРТСКЛАДІ

Розглянуті дані щодо особливостей виникнення, розвитку і наслідків вибуху і пожежі на артилерійському складі у залежності від властивостей горючих матеріалів пожежного навантаження, джерела загоряння та умов протікання процесу горіння. Описані фізичні процеси теплової дії на організм людини і довкілля при випадковому вибуху на артилерійському складі. Обговорюються небезпечні і шкідливі фактори пожежі і їх вплив на організм людини.

*аварійні вибухи на артскладі, тепловий вплив, вибухові речовини*

### Вступ

#### Постановка проблеми і аналіз літератури.

Аварії на артскладах з послідовними вибухами і можливими пожежами можуть привести до травмування і загибелі людей та значних матеріальних збитків. До наслідків аварійного вибуху на артскладі відносяться фугасна дія повітряної ударної хвилі та осколочна дія зруйнованих елементів будівельних конструкцій, які розлітаються, що знайшли відображення у ряді робіт [1, 3].

Однак параметри теплового впливу вибуху на організм людини і довкілля розкриті не у повній мірі. Тому, однією з актуальних проблем є захист особового складу військовослужбовців і рятівників від теплової дії аварійного вибуху на артскладі.

Для ефективного рішення прикладних задач необхідні фундаментальні знання і володіння сучасними методиками забезпечення теплової безпеки.

Модельовання динаміки фактору теплового впливу необхідно для прогнозування розвитку аварійної ситуації і попередження її несприятливих наслідків.

Проблема удосконалення розрахунку уражаючих факторів аварії при аварійному вибуху на артскладі є актуальною і вирішення її без науково-практичного забезпечення неможливо.

**Мета статті.** Описати фізичні процеси теплової дії на організм людини і довкілля при випадковому вибуху на артскладі.

### Основна частина

**Виклад основного матеріалу досліджень.** Під вибухом боєприпасів розуміється явище, яке пов'язано з випадковою зміною стану вибухових речовин (ВР), виділенням енергії, яка приводить до розігріву, руху і стисненню продуктів вибуху і повітря, а також супроводжуваним різким звуковим ефектом.

При вибуху вихідна потенційна енергія ВР перетворюється, як правило, в енергію нагрітих стиснених

газів, яка, у свою чергу, при їх розширенні переходить в енергію руху, стиснення і розігріву середовища. Частина енергії залишається у виді внутрішньої (теплової) енергії газів, що розширюються (рис. 1) [1].

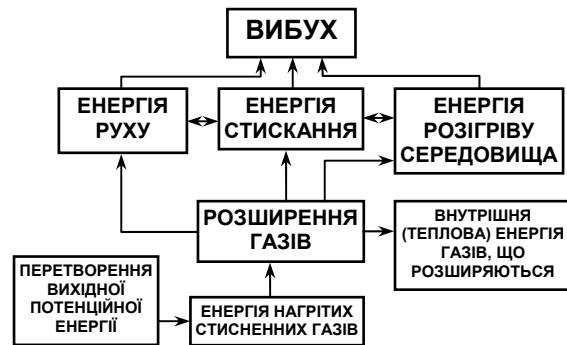


Рис. 1. Схема перетворення енергії при вибуху боєприпасів

Наземний вибух первісно утворює вогненну кулю з температурою понад 2300 К і початковим тиском 20 ГПа на відстані не більш десяти метрів. Нагріті продукти вибуху розширюються і охолоджуються на своєму шляху руху [2].

На рис. 2 наведено зміна інтенсивності випромінювання продуктів вибуху при аварії на артскладі.

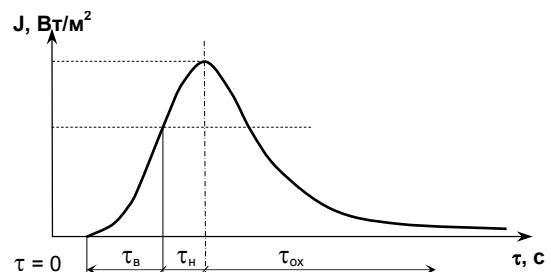


Рис. 2. Крива зміни інтенсивності випромінювання продуктів вибуху при аварії на артскладі

Пожежа при вибуху на артскладі може статися внаслідок термічної дії детонаційних процесів, а також теплового впливу постдетонаційних процесів

внаслідок загорання горючих речовин, матеріалів і будівельних конструкцій. При вибуху боєприпасів, звичайно, полум'я не спостерігається. Воно може утворитися в обмеженому секторі і не на довго.

Радіус небезпечного фактору теплового впливу – частина простору, що примикає до зони вибуху в якому за рахунок термічного впливу (випромінюючого, конвективного і теплопровідного) відбуваються необоротні зміни початкового стану навколишнього середовища. У цій зоні відбувається підготовка пожежного навантаження (горючих матеріалів) до наступної участі у горінні і створюються інші необхідні умови для його подальшого розповсюдження.

Особливості процесу загорання речовин і матеріалів, які знаходяться на артскладі і є предтечею пожежі, обумовлюються, у першу чергу, їх фізико-хімічними властивостями (параметрами пожежного навантаження), властивостями джерела загорання, наявності окислювача (приток повітря) та превалюванням теплоприходом над тепловтратами.

Інтенсивність теплового випромінювання дорівнює:

$$J_{\phi} = A \sqrt[3]{C^2/R^2}, \text{ Вт/м}^2, \quad (1)$$

де  $A_{\phi}$  – постійний коефіцієнт;  $C$  – маса ВР, кг;  $R_{\phi}$  – радіус вогненної сфери.

Радіус вогневої сфери при вибуху боєприпасів визначається як:

$$R_{\phi} = 29,6 \sqrt[3]{C/T_{\phi}}, \text{ м}, \quad (2)$$

де  $T_{\phi}$  – температура у центрі факела, К.

Час життя вогненної сфери:

$$\tau_{\phi} = 4,6 \sqrt[3]{C/T_{\phi}}, \text{ с}. \quad (3)$$

Інтенсивність теплового впливу випромінювання вогненного факела на поверхні ґрунту визначається з вираження [4]:

$$J_0 = A_0 \varepsilon_{\text{пр}} \left[ (T_{\phi}/100)^4 - (T_{\text{св}}/100)^4 \right] \varphi_{i\phi}, \text{ Вт/м}^2, \quad (4)$$

де  $\varepsilon_{\text{пр}} = (1/\varepsilon_{\phi} + 1/\varepsilon_0 - 1)$ ,  $A_0$  – коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного тіла, рівний  $5,7 \text{ Вт/(м}^2 \text{ К}^4)$ ;  $\varepsilon_{\text{пр}}$  – приведений ступінь чорноти системи;  $\varepsilon_{\phi}$  – ступінь чорноти факелу полум'я;  $\varepsilon_0$  – ступінь чорноти матеріала, який опромінюється;  $T_{\text{св}}$  – температура самозаймання горючої речовини, К;  $\varphi_{i\phi}$  – коефіцієнт опромінованості між випромінюванням і опромінюваною поверхнею.

За наведеними вище формулами (1) – (4) розраховане значення  $J_{\phi}$  у залежності від відстаней  $R_{\phi}$  при різних масах вибухаючих зарядів боєприпасів (рис. 3). Виходячи з характеристик будівельних конструкцій артскладу, пожежного навантаження приміщень, площі пожежі і характеру її розвитку розрахована орієнтовна інтенсивність від центру горіння і відстані між штабелями боєприпасів і їх висоти наведена на рис. 4. Характеру розвитку горіння в умовах відкритого простору достатній приток повітря сприяє розростанню пожежі та розповсюдженню полум'я від місця аварії.

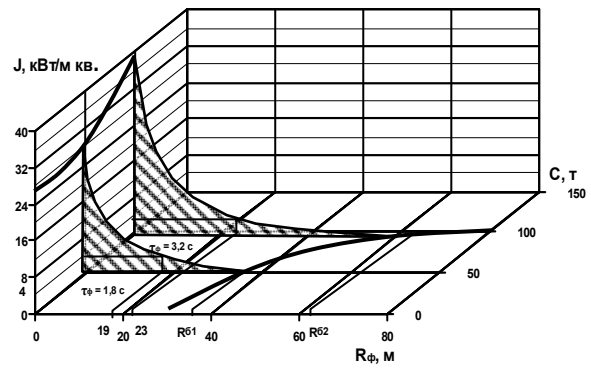


Рис. 3. Залежність інтенсивності теплового випромінювання від відстані до епіцентру вогненної сфери

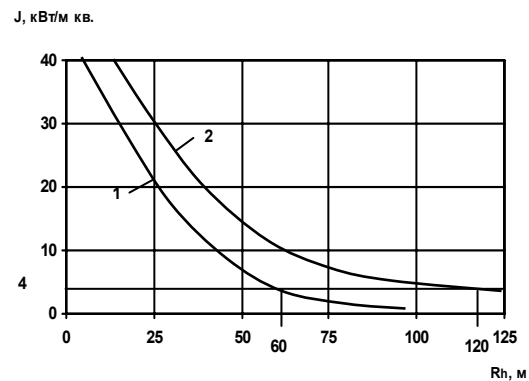


Рис. 4. Залежність інтенсивності падаючого променевого потоку від центру пожежі і відстані (1) між штабелями боєприпасів і їх висоти (h) (1 – h = 5 м, h = 10 м; 2 – h = 5 м, h = 10 м)

В умовах розвитку пожежі людина може піддаватися смертельній небезпеці по причині теплового впливу на організм.

Безпечна відстань від місця знаходження людини до зони, де інтенсивне теплове випромінювання не перевищує  $4,0 \text{ кВт/м}^2$  (на рис. 3  $q_6 = R_6$  (19, 23) м і рис. 4  $q_6 = R_6$  (60, 120) м. Поріг болю [5]:

$$\tau(R) = [35/q(R)]^{1,33}, \text{ с}. \quad (5)$$

Залежність порогу болю від відстані:

$$t(R) = t_0 + R_6/V_{\text{л}}, \text{ с}, \quad (6)$$

де  $t(R)$  – ефективний час експозиції;  $t_0$  – час виявлення пожежі;  $R_6$  – відстань від місця знаходження людини до зони, де інтенсивність теплового випромінювання менша  $4,0 \text{ кВт/м}^2$ .

Радіус ураження відкритих ділянок шкіри і сітківки очей тепловим випромінюванням:

$$R_6^{\text{III}} = 95 \sqrt[3]{C/T_B}, \text{ м}, \quad (7)$$

$$R_6^{\text{CO}} = 114 \sqrt[3]{C/T_B}, \text{ м}. \quad (8)$$

Важливо враховувати, що безпосередній термічний вплив на живий організм при пожежі на артскладі можливий тільки у тому випадку, коли людина контужена або дезорієнтована у просторі від дії вибухової ударної хвилі і не має можливості захистити себе від полум'я чи не в змозі прийняти які-небудь контрміри.

Сприйняття болю, як попереджувального імпульсу, термічного ураження поверхонь тіла різного ступеню залежить від інтенсивності теплового потоку і часу його впливу. Імовірність смертельного ураження людини тепловим потоком залежить від індексу дози теплового випромінювання, який визначається із співвідношення:

$$H(p) = (q(R) \cdot R_{\phi}^2 / R_0^2)^{4/3} t_{\phi}, \text{ Вт/м}^2, \quad (9)$$

де  $t_{\phi}$  – час існування вогненного факелу.

Опік третього ступеню:

$$H(p) = (q(R) \cdot R_{\phi}^2 / R_0^2)^{1,15} t_{\phi}, \text{ Вт/м}^2. \quad (10)$$

На рис. 5 приведена розрахована ймовірність випадкового ураження людини у залежності від отриманої дози для даних, наведених на рис. 3.

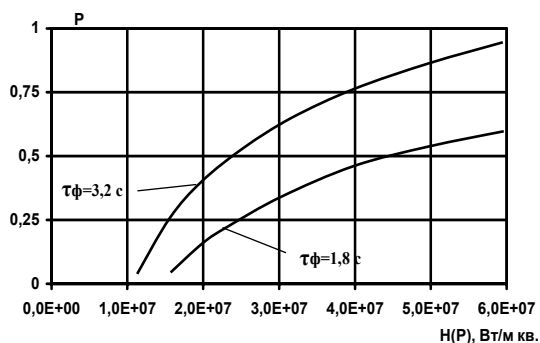


Рис. 5. Імовірність випадкового ураження людини у залежності від отриманої дози при дії вогненної кулі

Людина, якщо встигла повністю відвернутися від епіцентру аварії, отримає опіки більш низького ступеню, але розташованим по більшій площі тіла. Очевидно також, що за цей час може десь укритися або вбігти. Дуже важливу роль відіграє матеріал одягу, який може загорітися, що приведе до опіків полум'ям, тобто матеріал одягу впливає на ступінь ураження тіла.

На рис. 6 приведена діаграма, яка розділяє область стерпного і нестерпного болю (критерій, близький до поняття опіку другого ступеню). Шкіряний покрив людини здатний витримувати (без появи болювих відчуттів) інтенсивність випромінювання

$2,1 \times 10^4$  Вт/м<sup>2</sup> протягом 2 с, а ураження очей спостерігається при інтенсивності випромінювання  $1,7 \times 10^4$  Вт/м<sup>2</sup> протягом  $10^{-4}$  с.

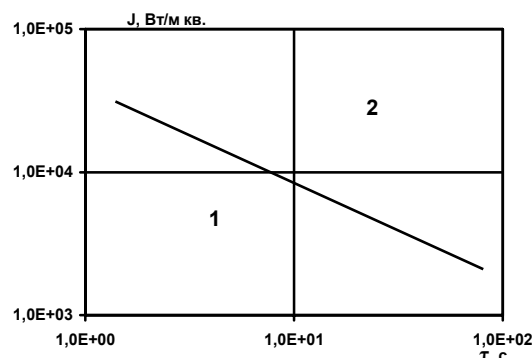


Рис. 6. Больова границя при опромінюючому опіку незахищених ділянок поверхні тіла людини (1 – область стерпного болю; 2 – область нестерпного болю)

### Висновки

Таким чином, запропоновані співвідношення та результати можуть бути практично використані для оцінки ступенів ураження військовослужбовців і рятувальників, які випадковим чином опинилися у зоні теплового випромінювання внаслідок вибуху і можливої пожежі на артскладі.

### Список літератури

1. Хитрин Л.М. Физика горения и взрыва. – М.: МГУ, 1957. – 567 с.
2. Кутагаи С. Горение. – М.: Химия, 1979. – 201 с.
3. Байкер У., Конс П., Уестрайн П. Взрывные явления: оценка и последствия. – М.: Мир, 1986. – 319 с.
4. Маршалл В. Основные опасности химических производств: Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 672 с.
5. Шестко Ю.Н., Гардиенко Д.М., Дешевых Ю.И., Кириллов Д.С. Экспресс-методы определения условной вероятности поражения человека тепловым излучением при пожарах на наружных технологических установках // Пожарная безопасность. – 2006. – № 5. – С. 73-79.

Надійшла до редколегії 3.03.2008

Рецензент: канд. фіз.-мат. наук, ст. наук співр. В.І. Гранцев, Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ.

### РАСЧЕТ ПОСЛЕДСТВИЙ ДЕЙСТВИЯ ТЕПЛОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ЧЕЛОВЕКА ПРИ ВЗРЫВЕ НА АРТСКЛАДЕ

Сидоренко В.Л., Азаров С.И.

*Рассмотрены данные относительно особенностей возникновения, развития и последствий взрыва и пожара на артскладе в зависимости от свойств горючих материалов пожарной нагрузки, источника возгорания и условий протекания процесса горения. Описаны физические процессы теплового действия на организм человека и окружающую среду при случайном взрыве на артиллерийском складе. Обсуждаются опасные и вредные факторы пожара и их влияние на организм человека.*

**Ключевые слова:** аварийные взрывы на артскладе, тепловое влияние, взрывчатые вещества.

### CALCULATION OF CONSEQUENCES OF ACTION OF THERMAL RADIATION ON MAN AT EXPLOSION ON ORDNANCE DEPOT

Sidorenko V.L., Azarov S.I.

*The origins given in relation to features are considered, development and consequences of explosion and fire on an ordnance depot depending on properties of combustible materials of the fire loading, source of ignition and terms of flowing of process of burning. The physical processes of the thermal operating are described on the organism of man and environment at a casual explosion on artillery composition. The dangerous and harmful factors of fire and their influence come into question on the organism of man.*

**Keywords:** explosions of emergencies on ordnance depot, thermal influencing, explosives.