

УДК 355.681:519.2

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

## ОЦІНКА РИЗИКУ УРАЖЕННЯ ВІЙСЬКОВОСЛУЖБОВЦІВ ФРАГМЕНТАМИ БОЄПРИПАСІВ ПРИ ВИБУХУ НА АРТСКЛАДІ

Запропоновано модель оцінки ймовірності ураження військовослужбовця фрагментами боєприпасів, який випадковим чином знаходиться на трасі їх розльоту при вибуху на артилерійському складі. У моделі наведено ряд співвідношень, таких як розрахунок ймовірності того, що ні один з об'єктів не перетинається із зоною ураження, розрахунок ризику травмування військовослужбовців, оцінка збитків від аварії на артилерійському складі, визначення збитків, пов'язаних із загибеллю людей.

**Ключові слова:** артсклад, фрагменти боєприпасів, об'єкт ураження, ризик ураження, збитки.

### Вступ

#### Постановка проблеми і аналіз літератури.

Забезпечення безпеки, під якою розуміється відсутність небезпечного і шкідливого впливу на військовослужбовця, являють собою одною з пріоритетних задач при виникненні, розвитку, локалізації і ліквідації аварій на складі боєприпасів.

Проблема уникнення і запобігання аварій і надзвичайних ситуацій, яка пов'язана з об'єктами зберігання вибухових речовин, є достатньо актуальною для Збройних Сил України. Багаточисельні вибухи на складах боєприпасів в Артемівську, Новобогданівці, Цвітосі тощо [1, 2] є тому наочним підтвердженням. Як показують дослідження [3, 4], при виникненні аварії на артскладах істотну роль відіграють такі небезпечні фактори аварій як тривалість дії повітряної ударної хвилі і пов'язаний з нею параметр імпульсу вибуху, теплове випромінювання процесу вибуху і можливі пожежі та інше. Однак, такому небезпечному фактору аварії як механічний вплив при ураженні фрагментами боєприпасів, які підриваються, приділяється досить мало уваги. Саме тому вивчення негативного впливу фрагментів боєприпасів на оточення і довкілля та розробка математичної моделі оцінки ймовірності ураження і збитків від таких чинників небезпек є одним з найважливіших завдань.

**Мета статті.** Запропонувати математичну модель оцінки ймовірності ризику ураження військовослужбовців фрагментами боєприпасів і матеріальних збитків при випадковому вибуху на артскладі.

### Основна частина

#### Виклад основного матеріалу досліджень.

При випадковому вибуху на артскладі утворюється множина фрагментів від боєприпасів (реактивні та артилерійські снаряди, гранати тощо), які розлітаються у різні сторони і по різних напрямках з радіусом розльоту від 0,5 до 15 км і вагою від 4,5 до 300 кг (табл. 1).

На трасі розльоту фрагментів боєприпасів можуть випадковим образом знаходитися один або декілька військовослужбовців. Оцінка ймовірності ураження таких біологічних об'єктів, які знаходяться на трасі розльоту фрагментів боєприпасів, відноситься до задачі про траєкторію геометричних фігур, випадковим образом розташованих на площині.

Розглянемо падаючий фрагмент боєприпасу, який уражає деяку площу (об'єкт ураження – біологічне тіло), яку будемо уявляти у виді кола діаметром  $D_0$  з центром у точці  $O$  (рис. 1). Будемо вважати, що об'єкти ( $D_0$ ) і групи об'єктів ( $D_{\Pi}$ ) рухаються у протилежне від вибуху напрямлення.

Місце падіння фрагментів боєприпасів випадковим образом розташовано усередині кола розсіювання. Падаючі фрагменти боєприпасів уражають деяку площу (зона ураження), яку будемо представляти у вигляді кола з певним радіусом. Об'єкт ураження (один або група військовослужбовців) представимо у виді кіл різних діаметрів, оскільки достовірно невідома їх форма і розташування відносно напрямлення розльоту фрагментів боєприпасів. У загальному випадку діаметри таких кіл різні:  $D_i$ , де  $i \leq N$ ,  $N$  – кількість військовослужбовців, які знаходяться у зоні ураження). Центр розташування військовослужбовців (точки  $O$ ) знаходяться у випадкових точках, які будемо описувати Пуассоновським законом із щільністю  $\lambda$  [8]. Для Пуассоновського розподілу ймовірність влучення в елементарну область двох або більш точок зневажає мала порівняно з ймовірністю ураження одної точки. Це виключає перетинання двох і більш об'єктів ураження.

Таким чином, кількість об'єктів ураження (кількість військовослужбовців)  $N$  у зоні ураження, яка розглядається, буде визначатися виходячи з її площі розльоту фрагментів боєприпасів  $S_{\Pi}$  і їх щільності  $\lambda$ :

$$N = \lambda S_{\Pi}. \quad (1)$$

Ураження військовослужбовця або групи військовослужбовців, що знаходяться на трасі розльоту фрагментів боєприпасів, відбудеться, якщо він або вони перетнуться із зоною ураження.

Орієнтовані відстані розльоту боєприпасів та їх фрагментів [5 – 7]

№№ з/п	Найменування боєприпасу, кг	Вага снаряду, кг	Максимальний розліт, км	Розліт основної маси фрагментів снарядів, км	Розліт з місць зберігання, % від загальної кількості
1.	Реактивні снаряди 9М22У, МЗ-21 "Град"	56-67	до 15,0	до 6,0	до 25
2.	Реактивні снаряди 9М27Ф, К "Ураган", 9М55К "Смерч"	200-300	до 3,0	до 2,0	до 10
3.	Реактивні протитанкові гранати (РПГ-18, РПГ-22, РПГ-26, постріли ПГ-7, ПГ-9)	4,5-16,7	до 1,5	до 0,6	до 80
4.	Снаряди калібру 120-203 мм	20-46	до 2,0	до 1,5	до 10
5.	Снаряди калібру до 100 мм	16,7	до 0,5	до 0,2	до 10



Рис. 1. Геометрична модель ураження військовослужбовців, які знаходяться на трасі розльоту фрагментів боєприпасів при випадковому вибуху на артскладі

У загальному випадку подія А, яка складається з того, що ні один з об'єктів не перетинається із зоною ураження, уявляється додаванням подій:

$$\bigcap_{i=1}^N A_i = B_1 \cap B_2 \cap \dots \cap B_N, \quad (2)$$

де  $B_i$  – подія, яка полягає у тому, що зона  $i$ -го об'єкта ураження не перетиналася із зоною ураження.

При умовах незалежних подій  $B_i$  ймовірність визначається наступним чином:

$$P(A) = \prod_{i=1}^N P(B_i) = \prod_{i=1}^N P_i, \quad (3)$$

де  $P(B_i)$  – ймовірність відсутності перетину  $i$ -го об'єкту із зоною ураження.

Будемо вважати, що діаметри зони ураження ( $D_\Gamma$ ) і діаметри об'єктів ураження ( $D_O$ ) знаходяться у зоні ураження фрагментами боєприпасів і є детермінованими величинами. Тоді ймовірність  $P(A)$  визначається як добуток:

$$P(A) = \prod_{i=1}^N \exp[-\pi\lambda(D_\Gamma + D_O)^2] \prod_{i=1}^N \zeta_i, \quad (4)$$

тут 
$$\zeta_i = \sum_{k=0}^{i-1} \frac{[\pi\lambda(D_\Gamma + D_O)]^k}{k!}. \quad (5)$$

Відповідно для ризику ураження військовос-

лужбовця, який знаходиться на трасі розльоту фрагментів боєприпасів, формула має вигляд:

$$R_\Pi = 1 - \exp\left[-N\pi\lambda(D_\Gamma + D_O)^2\right] \prod_{i=1}^N \zeta_i. \quad (6)$$

Використовуючи розподіл Пуассона для опису положень центрів об'єктів ураження, можна отримати наступне співвідношення для оцінки ризику:

$$R_\Pi = 1 - P_{j=0} = 1 - \exp\left[-\pi\lambda(D_\Gamma + D_O)^2\right], \quad (7)$$

де  $P_j$  – ймовірність того, що у зоні, яка розглядається (коло діаметром  $D_\Gamma + D_O$ ), не опинилося ні одного центра об'єкта ураження.

При  $D_O \rightarrow 0$  отримуємо відому формулу:

$$R_\Pi = 1 - \exp\left[-\pi\lambda D_\Gamma^2\right] = 1 - \exp(-N_\Pi), \quad (8)$$

де  $N_\Pi$  – кількість військовослужбовців, які знаходяться у зоні ураження.

У більш загальному вигляді ризик травмування військовослужбовців, які знаходяться у зоні ураження, може також бути представлений аксонометричним виразом [9]:

$$R_T = 1 - R_\Pi \prod_{j=1}^N \left(1 - \frac{t_j N_\Pi}{N_\Sigma t_\Sigma}\right), \quad (9)$$

де  $t_j$  – час дії  $j$ -го травмонебезпечного фактора (механічних ударів фрагментами боєприпасів) (див. табл. 1);  $N_\Sigma$  – сумарна кількість військовослужбовців, які знаходяться у зоні металного розльоту фрагментів боєприпасів;  $t_\Sigma$  – сумарний час евакуації, локалізації і ліквідації аварії.

Приймаючи до уваги те, що ризик травмування військовослужбовця на певному місці його розташування у результаті дії  $j$ -го травмонебезпечного фактора (механічних ударів фрагментами боєприпасів) є функцією декількох перемінних (див. рівняння 9) при рішенні задачі визначення ступеню ураження необхідно враховувати роль кожної перемінної шляхом виявлення небезпечних і шкідливих факторів аварії (вага, швидкість польоту, геометричні розміри фрагментів боєприпасів), оцінки рівня їх впливу на організм людини та інше.

Розрахунки за отриманими формулами показали, що для площі розглянутого району  $S_y = 1,5 \times 10^2 \text{ км}^2$  і щільності розподілу об'єктів ураження у цьому районі  $\lambda = 0,02 \text{ км}^2$  у середньому буде розташовано  $N = \lambda \times S_{\Pi} = 30$  військовослужбовців. Діаметр зони ураження  $D_T$  складе  $0,01 \text{ км}$ , діаметр об'єктів  $D_0 = (2-9) \times 10^{-3} \text{ км}$  (з урахуванням щільності групи, швидкості переміщення і т. і.), значення  $R_{\Pi}$  складе  $1,36 \times 10^{-5}$ , а ризик травмування  $R_T = 4,6 \times 10^{-6}$ .

Якщо оцінювати збитки від аварії на артскладі, то вони повинні враховувати такі складові:

$$C_{зб} = C_{тр} + C_3 + C_M + C_H + C_e + C_p + C_{л}, \quad (10)$$

де  $C_{тр}$  – витрати суспільства з національного доходу на компенсацію довгострокової дії та постійної втрати працездатності постраждалим;  $C_3$  – витрати суспільства у зв'язку із загибеллю людей;  $C_M$  – матеріальні витрати від руйнування транспортних засобів, шляхів сполучення та навколишніх споруд;  $C_H$  – матеріальні втрати населення у зоні аварії;  $C_e$  – матеріальна шкода, нанесена аварією довкіллю;  $C_p$  – витрати на розслідування аварії та її наслідки;  $C_{л}$  – витрати на медичне обслуговування постраждалих та виплату соціального страхування.

Визначати збитки, пов'язаних із загибеллю людей, можна за наступною формулою:

$$C_3 = q \left\{ \left[ \left( \frac{D}{M} - 12 \frac{3}{z} \right) \sum_{i=1}^n \left( \frac{1}{r} \right)^{i-1} \right] + C_{\Pi} \right\}, \quad (11)$$

де  $q$  – кількість загиблих військовослужбовців;  $M$  – кількість людей, зайнятих у матеріальному виробництві держави;  $D$  – річний валовий національний дохід;  $3$  – середньомісячний заробіток загиблого військовослужбовця;  $z$  – середня кількість утриманців загиблого;  $n$  – середнє число років, яких не дожив загиблий військовослужбовець до пенсійного віку;  $l$  – імовірність досягнення військовослужбовцем пенсійного віку (в СРСР вона становила  $0,821$ );  $r = (1+0,01\rho)$ ,  $\rho$  – річна

відсоткова ставка;  $C_{\Pi}$  – середні витрати на підготовку заміни військовослужбовця Збройних Сил України.

## ВИСНОВКИ

Запропоновані співвідношення можуть бути практично використані для оцінки ризиків ураження військовослужбовців, які випадковим чином знаходяться на трасі розльоту фрагментів боєприпасів при вибуху на артскладі, а також для оцінки збитків, пов'язаних із загибеллю людей.

## Список літератури

1. Указ Президента України "Про рішення Ради національної безпеки та оборони України" від 26 травня 2004 року "Про стан зберігання боєприпасів і вибухових речовин на арсеналах, базах і складах Збройних Сил України".
2. Токаревский В.В., Азаров С.И., Сорокин Г.А., Сидоренко В.Л. Аварии на взрывопожароопасных объектах и моделирование их экологических последствий // *Экология и ресурсы*. – К.: 2005. – Вып. 11. – С. 59-72.
3. Безпека зберігання вибухових речовин та боєприпасів. Навч. пос. / М.І. Адаменко, Ю.В. Квітковський, О.В. Гелета, В.О. Росоха, І.Б. Федюк / Під заг. ред. В.О. Росохи. – Х.: 2005. – 337 с.
4. Адаменко М.І. Методика розрахунку максимальних небезпечних відстаней при вибуху штабелю боєприпасів // *Системи обробки інформації*. – Х.: ХУПС, 2007. – Вып. 2(60). – С. 140-141.
5. Стрельба наземной артиллерии. – М.: Воениздат, 1970. – 446 с.
6. Учебник сержанта ракетных войск и артиллерии. – М.: Воениздат, 1979. – 223 с.
7. Кюпор И.И. Учебник сержанта зенитной артиллерии. – М.: Воениздат, 1948. – 300 с.
8. Вентуель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей. – М.: Наука, 1969. – 366 с.
9. Азаров С.І., Перімов Р.В. Математична модель оцінки ризику травмування // *Вісник НТТУ "КПІ": Зб. наук. праць НТТУ "КПІ"*. – Серія "Гірництво". – К.: КПІ, 2004. – № 10. – С. 128-132.

Надійшла до редколегії 25.02.2008

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

## ОЦЕНКА РИСКА ПОРАЖЕНИЯ ВОЕННОСЛУЖАЩИХ ФРАГМЕНТАМИ БОЕПРИПАСОВ ПРИ ВЗРЫВЕ НА АРТСКЛАДЕ

В.Л. Сидоренко, С.И. Азаров

*Предложена модель оценки вероятности поражения военнослужащего фрагментами боеприпасов, который случайным чином находится на трассе их разлета при взрыве на артскладе. В модели приведен ряд соотношений, таких как расчет вероятности того, что ни один из объектов не пересекается с зоной поражения, расчет риска травмирования военнослужащих, оценка убытков от аварии на артскладе, определения убытков, связанных с гибелью людей.*

**Ключевые слова:** авария на артскладі, фрагменты боеприпасов, объект поражения, риск поражения, убытки.

## ESTIMATION OF RISK OF DEFEAT OF SERVICEMEN THE FRAGMENTS OF LIVE AMMUNITIONS AT AN EXPLOSION ON ARTILLERY DEPOT

V.L. Sidorenko, S.I. Azarov

*The model of estimation of hit of serviceman the fragments of live ammunitions probability is offered, which a casual rank is on the route of their flying away at an explosion on artillery depot. The row of correlations is resulted in a model, such as a calculation of probability mozo, that none of objects intersects with the area of defeat, calculation of risk of injuring of servicemen, estimation of losses om a failure on artillery depot, determinations of losses, related to death of people.*

**Keywords:** failure on артскладі, fragments of live ammunitions, object of defeat, risk of defeat, losses.