

УРАЖАЮЧА ДІЯ НИЗЬКОШВИДКІСНИХ ОСКОЛКОВИХ ПОЛІВ РАДІАЛЬНО-ОСЬОВИХ ОСКОЛКОВО-ФУГАСНИХ СНАРЯДІВ

У статті проведено аналіз впливу низькошвидкісних осколкових полів осколкоутворюючих частин радіально-осьових осколково-фугасних снарядів на живу силу противника. У результаті чого представлено математичну модель, яка описує процес ураження живої сили низькошвидкісними осколковими полями осколкоутворюючих частин роздільно-осколкових осколково-фугасних снарядів.

Здійснено аналіз кінематичних та енергетичних характеристик осколків, швидкість яких не перевищує 300 м/с, включаючи розгляд їхньої кінетичної енергії та імпульсу при взаємодії з живою силою. Значну увагу акцентовано на ймовірнісно-статистичному моделюванні просторового розподілу низькошвидкісних осколків для чого використано закон Пуассона, що дозволяє врахувати випадковий характер розльоту осколків у просторі та визначити ймовірність їхньої появи в певній точці.

Досліджено уражаючі можливості низькошвидкісних осколкових полів осколкоутворюючих частин радіально-осьових осколково-фугасних снарядів з урахуванням не лише енергетичних параметрів осколків, але й їхньої орієнтації в момент зіткнення з ціллю, а також характеристик засобів індивідуального бронезахисту, що суттєво впливати на ступінь ураження.

Представлено математичний опис ймовірності ураження живої сили противника шляхом урахування розподілу вразливих зон тіла піхотинця та ймовірності влучання осколків саме в ці зони відповідно до чого здійснено комплексну оцінку бойового потенціалу живої сили з урахуванням не лише самого факту ураження, але й ступеня його тяжкості.

Запропоновано математичну модель, яка відображає зниження боєдатності особового складу залежно від кількості та характеру отриманих поранень. Ця модель може бути використана для прогнозування боєдатності підрозділів після застосування осколкоутворюючих частин радіально-осьових осколково-фугасних снарядів.

Ключові слова: низькошвидкісні осколкові поля, радіально-осьові осколково-фугасні снаряди, кінетична енергія, просторовий розподіл осколків, закон розподілу Пуассон, кількісна оцінка ураження.

Вступ та постановка проблеми. Як показав досвід російсько-української війни та аналіз опрацьованих джерел, найбільш ефективними засобами ураження живої сили противника залишаються радіально-осьові осколково-фугасні (РООФ) снаряди. Адже цей тип снарядів один з небагатьох, який може ефективно уражати живу силу противника, індивідуальний бронезахист якої постійно покращується.

У статті запропоновано аналітичний вираз, який описується законом Пуассона. Це дає можливість охарактеризувати ймовірність ураження низькошвидкісними осколковими полями РООФ снарядів живої сили противника.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Результат проведеного аналізу наукових праць засвідчує, що відповідно до проведених досліджень існуючих типів боєприпасів найбільш ймовірними засобами ураження живої сили противника є артилерійські системи. На сьогодні аспект цих питань достатньо вивчений. Значний внесок в вивчення характеру вибуху, дроблення оболонки на осколкові фракції зробили В. Яковенко Ю. Сидоренко, І. Чепков, М. Васьківський та інші., у тому числі в Трудах НУОУ та журналах ЦНДІ ОВТ Збройних сил України.

Метою статті є: наведення аналітичного виразу, застосування якого дозволить оцінити дію низькошвидкісних осколкових полів РООФ снарядів на живу силу противника, яка знаходиться в сучасних засобах бронезахисту.

Виклад основного матеріалу. Низькошвидкісні осколкові поля осколкоутворюючих частин радіально-осьових осколково-фугасних (далі РООФ) снарядів - це осколкові поля, абсолютна величина швидкості яких відповідає нерівності $|\vec{v} = v \leq 300 м / с|$. Де вектор швидкості кожного осколка визначається як величиною, так і напрямком, що є критичним для аналізу кута зустрічі з ціллю та розподілу імпульсу. Кінетична енергія E_k осколка масою m , що є скалярною величиною, визначається класичним виразом кінетичної енергії [1]:

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \quad (1)$$

З рівняння видно, що уражаюча можливість осколку має квадратичну залежність відносно його швидкості. Тому у випадку низькошвидкісного потоку осколків, відслідковується відносно невелика кінетична енергія, якої може бути недостатньо для пробиття сучасних засобів індивідуального бронезахисту. Тому дослідження уражаючих можливостей таких осколків можливо виразити через Вектор імпульсу \vec{p} осколка, який є векторною величиною та визначається як [5,12]:

$$\vec{p} = m\vec{v} \quad (2)$$

При взаємодії осколка з ціллю відбувається передача імпульсу. У випадку непробиття бронезахисту, значний імпульс низькошвидкісного осколка може призвести до контузій, забоїв та інших не проникаючих травм, що також впливають на боєздатність особового складу.

Тому для більш точного енергетичного аналізу необхідно враховувати роботу сил опору при проникненні осколка в різні середовища (тканини тіла, елементи захисту), через визначення коефіцієнту корисної роботи W , виконаного силою \vec{F} на шляху $d\vec{s}$, до цілі який можливо виразити через наступний вираз:

$$W = \int \vec{F} \cdot d\vec{s} \quad (3)$$

Де зміна кінетичної енергії осколка дорівнює виконаній роботі (теорема про кінетичну енергію). Оскільки при зіткненні осколку з елементом бронезахисту частина кінетичної енергії осколку витрачається на деформацію та пробиття бронезахисту, а також на подолання сил тертя підчас проходження осколку через засоби бронезахисту. То тоді ефективність ураження живої сили залежатиме від просторово-масового розподілу низько швидкісних осколкових полів осколкоутворюючої частини РООФ снаряду. У такому випадку потрапляння осколку в захищену чи не захищену частину тіла живої сили є випадковим процесом і може бути описаний функцією густини ймовірності $f(x,y,z)$, що визначає ймовірність влучання осколку в лінійні розміри однорідної живої сили яка перебуває в певній точці простору в межах корисної дії осколкового поля РООФ снаряду[3].

Для полегшення математичних розрахунків припустимо, що проєкція розподілу осколкових полів відносно площини буде перпендикулярна відносно напрямку поширення осколкових полів, тобто осколок уражатиме ціль під прямим кутом.

Тоді густина середньої осколків $\lambda_{\text{нш}}$, що потрапляють у площу S (живої сили), розміщену в радіусі дії осколкового поля відносно точки вибуху, залежить від інтегралута густини осколкового потоку $\rho_{\text{нш}}(r, \theta)$ спрямованого в площину цілі:

$$\lambda_{\text{нш}} \iint \rho_{\text{нш}}(r, \theta) dA, \quad (4)$$

де dA – частина площини, в яку спрямовано осколковий потік.

Тоді густина осколкового потоку залежатиме від багатьох факторів, включаючи кут розриву осколкоутворюючої частини РООФ снаряду відносно горизонту, конструкцію осколкоутворюючої частини, характеристики розривного заряду та умови детонації. Емпіричні дані, отримані в результаті полігонних випробувань, є основою для визначення функції $\rho_{\text{нш}}(r, \theta)$ [3,5].

За допомогою закону розподілу Пуассона проведемо апроксимацією для випадкової кількості незалежних подій (влучань осколків) за фіксований інтервал (площини поширення осколкових полів). Проте слід врахувати, що у реальних умовах можуть спостерігатися відхилення від цього закону через нерівномірність фрагментації корпусу та наявність зон підвищеної або зниженої щільності осколків ("згустки" та "розрідження"). Тому для більш точного моделювання можуть використовуватися складніші статистичні розподіли, такі як негативний біноміальний розподіл, який враховує можливу кластеризацію подій.

У такому разі ймовірність пробиття засобів індивідуального бронезахисту низькошвидкісним осколком залежить не тільки від його кінетичної енергії та маси, але й від його орієнтації в момент зіткнення. Кінетична енергія, що витрачається на пробиття, залежить від площі поперечного перерізу самого осколка, що контактує з цілю. Осколки природного дроблення залежно від форми можуть мати різну пробивну здатність залежно від того, якою стороною вони контактують з цілю. Тому для моделювання пробиття необхідно враховувати балістичну межу V_{50} матеріалу броні – швидкість, при якій ймовірність пробиття становить 50% для стандартного кулеподібного елемента. Для осколків нестандартної форми та низьких швидкостей, визначення порогової енергії пробиття $E_{\text{пор}}$ вимагає чисельного моделювання з використанням наступного виразу [6,10].

$$\rho_p (u_p^2 - Y_t) = \rho_t (u^2 - R_t), \quad (5)$$

де ρ_p , u_p – густина та швидкість осколкових потоків,
 Y_t – динамічна межа текучості,
 ρ_t , U – густина та швидкість проникнення цілі (броні),
 R_t – опір проникненню цілі.

Для низькошвидкісних осколків, де u_p відносно мала, опір матеріалу броні R_t може відігравати більш значну роль у визначенні глибини проникнення або факту пробиття.

У такому разі при визначенні ймовірності ураження неоднорідної живої сили необхідно враховувати розподіл вразливих зон тіла та ймовірність влучання осколка в ці зони та ймовірність заподіяння летальних або нелетальних уражень залежно від кінетичної енергії та траєкторії осколка. Ймовірність влучання осколка в певну вразливу зону Z_i тіла може бути визначена як відношення площі проекції цієї зони на площину розльоту осколків до загальної площі тіла живої сили [7 - 9,11].

$$P_{\left(\text{влучання в } Z_i \right)} = \frac{S_{\text{проекції}} Z_i}{S_{\text{тіла}}} \quad (6)$$

Тоді ймовірність ураження i -го військовослужбовця при влучанні k осколків може бути змодельована за розподілом Пуассона відносно кількості влучань як:

$$P_{\text{ур},i}(k) = 1 - \prod_{j=1}^k \left(1 - P_{\text{влучання},j} \cdot P_{\text{брз}} + P_{\text{безбрз}} \cdot P_{\text{бпробиття},j} \right), \quad (7)$$

де $P_{\text{влучання},j}$ та $P_{\text{бпробиття},j}$ – ймовірність влучання та пробиття для j -го осколка.

Тому для більш повної оцінки впливу низькошвидкісних осколкових полів на боєздатність живої сили необхідно враховувати не тільки факт ураження, але й ступінь його

тяжкості (легке поранення, тяжке поранення, смерть). Ймовірність отримання ураження певного ступеня тяжкості залежить від кінетичної енергії осколка, області влучання та наявності засобів захисту.

Можна ввести коефіцієнти, що відображають зниження боєздатності підрозділу внаслідок ураження певної кількості особового складу з різним ступенем тяжкості. Наприклад, легке поранення може тимчасово вивести з ладу військовослужбовця, тяжке поранення – на тривалий час, а смерть – безповоротно.

Математична модель бойового потенціалу підрозділу $B_{(t)}$ у момент часу t після ураження може бути виражена як:

$$B_{(t)} = B_0 \cdot \left(1 - \sum_s w_s \cdot N_s(t) / N_{заг} \right), \quad (8)$$

де B_0 – початковий бойовий потенціал,

w_s – коефіцієнт зниження боєздатності при ураженні ступеня s ,

$N_s(t)$ – кількість військовослужбовців, що отримали ураження ступеня s до моменту t ,

$N_{заг}$ – загальна чисельність підрозділу.

Для прогнозування $N_s(t)$ необхідно використовувати ймовірнісні моделі розподілу ступеня тяжкості уражень залежно від параметрів осколкового поля та захищеності особового складу.

Висновки. Отже сучасний рівень розвитку науки та техніки дає змогу дослідити ефективність осколкових полів РООФ та їх вплив на живу силу противника математичними методами. Математичне моделювання уражаючої дії низькошвидкісних осколкових полів РООФ снарядів є складним завданням, що вимагає врахування багатьох факторів, включаючи кінематичні параметри осколків, їхній просторовий розподіл, ймовірність пробиття засобів індивідуального бронезахисту та розподіл вразливих зон тіла. Використання ймовірнісно-статистичних методів, енергетичного аналізу та моделей проникнення дозволяє отримати кількісні оцінки ймовірності ураження та впливу на боєздатність підрозділів противника. Розроблення чи удосконалення існуючих наукових методів (методик) надасть можливість більш глибокого та детального дослідження структури осколкових полів РООФ снарядів.

Цей алгоритм розрахунків можна використати як для оцінки летальності низькошвидкісних осколкових полів, так і для оцінки вражаючої дії РООФ боєприпасів на живучість підрозділів противника, який знаходиться в сучасних засобах бронезахисту.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Catovic A., Zecevic B., Terzic J. Analysis of terminal effectiveness for several types of he projectiles and impact angles using coupled numerical - CAD technique. *New Trends in Research of Energetic Materials*, Pardubice, 9 April 2009. P. 455–472. URL: <https://www.researchgate.net> (accessed 24.04.2025).

2. Греков В. П., Журавльов О. О., Ткаченко Ю. А. Метод оцінки розміру приведеної площі осколкового ураження касетної бойової частини реактивного снаряду з осколково-фугасними бойовими елементами. *Системи озброєння і військова техніка*. 2019. № 1 (57). С. 77–84.

3. Метод аналітичної оцінки розмірів області розсіювання точок падіння бойових елементів після розкриття касетної бойової частини / В. Тарасов та ін. *Системи озброєння і військова техніка*. 2018. № 4 (56). С. 60–66.

4. Сук Д. О., Сидоренко Ю., Яковенко В. В. Загальний кут розльоту та швидкість руху осколкової маси осевого осколкового поля 30 мм. вибухового пристрою. *Прогресивна техніка технологія та інженерна освіта. : матеріали міжнар. науково-техн. конф.*, м. Київ, 19–22 черв. 2018 р. Київ, 2018. С. 108–110.

5. Spiegel M. R. Schaum's outline of the theory and problems of statistics. 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 1999. 538 p.
6. Army Combat Systems Test Activity Aberdeen Proving Ground MD. Static testing of high explosive munitions for obtaining fragment spatial distribution. 1993. 72 p.
7. Малишкін О. В., Босий О. Б., Григоренко С. А., Іванов Т. С., Галкін А. О. Рекомендації щодо підвищення бойової (вогневої) ефективності засобів ураження осколочної дії. Збірник наукових праць Військової академії (м. Одеса). 2021. Вип. 1(15). С. 107-114.
8. Сидоренко Ю. М. Особливості процесу вибухового метання осколкоутворюючих дисків, що входять до складу осколково-пучкового снаряда. *Зб. наук. праць Академії ВМ Сім. П.С. Нахімова*. 2012. № 1(19). С. 86–99.
9. Сидоренко Ю., Шленский П. Численное моделирование разлета продуктов детонации и распространения воздушных ударных волн при взрыве плоского заряда конечных размеров. *Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»*. 2011. № 62. С. 223–232.
10. Influencing parameters on HE projectiles with natural fragmentation / B. Zecevic et al. *New Trends in Research of Energetic Materials*, Pardubice, 19–21 April 2006. Pardubice, 2006. P. 780–795. URL: <https://www.researchgate.net> (accessed 05.2025).
11. Сидоренко Ю., Яковенко В. В. Про вплив кількості осколкоутворюючих дисків осколково-пучкового снаряда на значення параметрів осевого осколкового поля. *Військово-технічний збірник*. 2012. № 6. С. 79–86.
12. Analysis of influencing factors of mortar projectile reproduction process on fragment mass distribution / B. Zecevic et al. *13th Seminar on New Trends in Research of Energetic Materials*, Pardubice, 21–23 April 2010. Pardubice, 2010. P. 783–795. URL: <https://www.researchgate.net> (accessed 24.04.2025).

REFERENCES:

1. Zecevic, B., Catovic, A., Terzic, T. та Kadic-Serdarevic, S., (2010). “Analysis of influencing factors of mortar projectile reproduction process on fragment mass distribution”. У: *13th Seminar on New Trends in Research of Energetic Materials*, 21–23 квітня 2010, Pardubice, Czech Republic. Pardubice: University of Pardubice. pp. 783–795. Retrieved from URL: <https://www.researchgate.net> (accessed 24 April 2025).
2. Army Combat Systems Test Activity Aberdeen Proving Ground MD, (1993). Static testing of high explosive munitions for obtaining fragment spatial distribution. Technical Report.
3. Catovic, A., Zecevic, B. and Terzic, J., (2009). “Analysis of terminal effectiveness for several types of the projectiles and impact angles using coupled numerical -cad technique”. In: *New Trends in Research of Energetic Materials*, 1 April 2009, Pardubice, Czech Republic. pp. 455–472. Retrieved from URL: <https://www.researchgate.net> (accessed 24 April 2025).
4. Hrekov, V. P., Zhuravlov, O. O. and Tkachenko, Yu. A., (2019). “Metod otsinky rozmiru pryvedenoї ploshchi oskolkovoho urazhennia kasetnoi boiovoi chastyny reaktyvnogo snariadu z oskolkovo-fuhasnymy boiovyimy elementamy” [Method for estimating the size of the reduced area of fragmentation damage of a cluster warhead of a rocket projectile with high-explosive fragmentation warheads]. *Systemy ozbroiennia i viiskova tekhnika*. No. 1 (57), pp. 77–84.
5. Tarasov, V., Zhuravlov, O., Iziumskiy, M. and Shyhimaha, N. V., (2018). “Metod analitychnoi otsinky rozmiriv oblasti rozsiuvannia tochok padinnia boiovykh elementiv pislia rozkryttia kasetnoi boiovoi chastyny” [Method for analytical estimation of the size of the dispersion area of the points of impact of combat elements after the opening of a cluster warhead]. *Systemy ozbroiennia i viiskova tekhnika*, No.4 (56), pp. 60–66.
6. Sydorenko, Yu., (2012). “Osoblyvosti protsesu vybukhovoho metannia oskolkoutvoriuiuchykh diskiv, shcho vkhodiat do skladu oskolkovo-puchkovoho snariada” [Features of the process of explosive throwing of fragmentation-forming disks that are part of a fragmentation-beam projectile]. *Zb. nauk. prats Akademii VM Sim. P.S. Nakhimova*, No. 1(19), pp. 86–99.
7. Sydorenko, Yu. and Yakovenko, V. V., (2012). “Pro vplyv kilkosti oskolkoutvoriuiuchykh diskiv oskolkovo-puchkovoho snariada na znachennia parametriv osovoho oskolkovoho polia” [On the influence of the number of fragmentation disks of a fragmentation-beam projectile on the values of the parameters of the axial fragmentation field]. *Viiskovo-tekhnichniy zbirnyk*. No. 6, pp. 79–86.
8. Sydorenko, Yu. and Shlenskiy, P., (2011). “Chyslennoe modelyrovaniye razleta produktov detonatsii

i rasprostraneniia vozdushnykh udarnykh voln pry vzryve ploskogo zariada konechnykh razmerov” [Numerical modeling of the expansion of detonation products and the propagation of air shock waves during the explosion of a flat charge of finite dimensions]. Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu Ukrainy «Kyivskiy politekhnichnyi instytut». No. 62, pp. 223–232.

9. Suk, D. O., Sydorenko, Yu. and Yakovenko, V. V., (2018). “Zahalnyi kut rozlotu ta shvydkist rukhu oskolkovoi masy osovoho oskolkovoho polia 30 mm. vybukhovoho prystroiu” [The total angle of dispersion and the velocity of the fragment mass of the axial fragment field of a 30 mm explosive device]. In: Prohresyvna tekhnika tekhnolohiia ta inzhenerna osvita., 19–22 June 2018, Kyiv, Ukraina. Kyiv. pp. 108–110.

10. Malyshkin, O. V., Bosyi, O. B., Hryhorenko, S. A., Ivanov, T. S. and Halkin, A. O., (2021). “Rekomendatsii shchodo pidvyshchennia boiovoi (vohnevoi) efektyvnosti zasobiv urazhennia oskolochnoi dii” [Recommendations for increasing the combat (fire) effectiveness of fragmentation weapons.]. Zbirnyk naukovykh prats Viiskovoi akademii (m. Odesa). No. 1(15), pp. 107–114.

11. Spiegel, M. R., (1999). “Schaum's outline of theory and problems of statistics”. 3rd ed. New York: McGraw-Hill.

12. Zecevic, B., Terzic, J., Catovic, A. and Serdarevic-Kadic, S., (2006). Influencing parameters on HE projectiles with natural fragmentation. In: New Trends in Research of Energetic Materials, 19–21 April 2006, Pardubice, Czech Republic [online]. Pardubice: University of Pardubice. pp. 780–795. Retrieved from URL: <https://www.researchgate.net> (accessed 1 May 2025)

Ph.D. O. Kravchuk

THE STUNNING EFFECT OF LOW-VELOCITY FRAGMENT FIELDS OF RADIAL-AXIAL HIGH-EXPLOSIVE FRAGMENTATION MILLS

The article analyzes the impact of low-velocity fragmentation fields of fragmentation-forming parts of radial-axial high-explosive fragmentation shells on enemy manpower. As a result, a mathematical model is presented that describes the process of defeating manpower by low-velocity fragmentation fields of fragmentation-forming parts of high-explosive fragmentation shells.

An analysis of the kinematic and energy characteristics of fragments with a speed not exceeding 300 m/s was carried out, including consideration of their kinetic energy and momentum when interacting with manpower. Considerable attention was paid to probabilistic and statistical modeling of spatial distribution of low-speed fragments, for which Poisson's law is used, which allows taking into account the random nature of the dispersion of fragments in space and determining the probability of their appearance at a certain point.

The striking capabilities of low-velocity fragmentation fields of fragmentation-forming parts of radial-axial high-explosive fragmentation shells were investigated, taking into account not only the energy parameters of the fragments, but also their orientation at the moment of collision with the target, as well as the characteristics of individual armor protection, which significantly affect the degree of damage.

A mathematical description of the probability of defeating enemy manpower is presented by taking into account the distribution of vulnerable zones of the human body and the probability of fragments hitting these zones, according to which a comprehensive assessment of the combat potential of manpower was carried out, taking into account not only the fact of defeat, but also the degree of its severity.

A mathematical model is proposed that reflects the reduction in combat capability of personnel depending on the number and nature of wounds received. This model can be used to predict the combat capability of units after the use of fragmentation parts of radial-axial high-explosive fragmentation shells.

Keywords: low-velocity fragmentation fields, radial-axial high-explosive fragmentation shells, kinetic energy, spatial distribution of fragments, Poisson distribution law, quantitative assessment of damage.