

## АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ФРАГМЕНТАЦІЇ РАДІАЛЬНО-ОСЬОВИХ ОСКОЛКОВО-ФУГАСНИХ МІН

*У статті представлено результати комплексного дослідження статистичної відтворюваності ключових параметрів процесу фрагментації радіально-осьових осколково-фугасних мін калібру 120, 82 та 60 мм.*

*Проведено аналіз кількісних та масових характеристик осколкових полів радіально-осьових осколково-фугасних мін калібру 120, 82 та 60 мм. Здійснено математичне моделювання емпіричного розподілу за кількістю та масою осколків за допомогою використання двопараметричної функції Гельда.*

*Надано статистичну оцінку варіативності параметрів фрагментації, що здійснювалася із застосуванням методів описової статистики та критеріїв статистичної значущості, зокрема за двовибірковим критерієм Стьюдента для незалежних вибірок. Застосовано формули Генрі для оцінки початкових швидкостей осколків та методу визначення радіуса ефективності осколкових полів.*

*Проаналізовано емпіричні константи моделі Гельда та потенційні ендегенні (технологічні особливості виробництва, характеристики компонентів, зокрема варіації густини вибухової речовини) та екзогенні (методика експерименту, включаючи метод збору осколків, операторський фактор) чинники, що можуть впливати на стабільність процесу фрагментації. Розглянуто питання статистичної стійкості характеристик фрагментації радіально-осьових осколково-фугасних мін різних калібрів, що є важливим аспектом для прогнозування їхньої бойової ефективності. Аналіз охоплює не лише середні значення параметрів осколкових полів, але й оцінку їхньої варіативності, що дозволяє прогнозувати вражаючі можливості осколкових полів радіально-осьових осколково-фугасних мін калібру 120, 82 та 60 мм. Оскільки застосування математичного апарату, включаючи функцію Гельда та критерій Стьюдента, забезпечує кількісну оцінку відтворюваності процесу фрагментації та виявлення потенційних факторів нестабільності.*

*Ключові слова: процес фрагментації, осколково-фугасний снаряд, статистичний аналіз, математичне моделювання розподілу мас осколків, осколкові поля, уражаючі можливості.*

**Вступ та постановка проблеми.** Як показав досвід російсько-української війни та аналіз опрацьованих джерел, найбільш ефективними засобами ураження живої сили противника, яка перебуває в сучасних засобах бронезахисту, залишаються радіально-осьові осколково-фугасні снаряди.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** З аналізу дослідження характеру впливу осколкових полів РООФ снарядів з'ясовано, що на сьогодні характер руйнування навантажених вибухом циліндричних оболонок достатньо вивчений. В роботах Вадима Яковенка та Юрія Сидоренка досліджено характер дії осколкових полів радіально-осьових та радіально-направлених осколково-фугасних снарядів. У роботах Ігоря Чепкова та Михайла Васьківського досліджено характер вибуху, дроблення оболонки на осколкові фракції, У роботах Алана Катовіка та Елдіна Кліно досліджено осколкові поля та їх летальні можливості як вітчизняних так і західних зразків [1 - 3].

**Метою статті є:** дослідження уражаючих можливостей осколкових полів осколкових полів мін калібру 120, 82 та 60 мм. Оцінка уражаючої дії осколкових полів мін калібру 120, 82 та 60 мм при впливі на живу силу противника, яка знаходиться в сучасних засобах бронезахисту чи напіввідкритих укриттях.

**Виклад основного матеріалу.** При детонації осколково-фугасної міни її корпус випадково фрагментується на велику кількість осколків. Характеристики цих осколків такі,

як форма, маса, кількість та їх просторовий розподіл, визначаються геометрією корпусу, механічними властивостями матеріалу (міцність, плинність, в'язкість, термічна обробка) та характеристиками вибухової речовини (густина, тиск та швидкість детонації). Тому прогнозування просторового розподілу осколків є складною задачею.

Просторовий розподіл осколків визначався за результатами існуючих експериментальних досліджень, що проводилися з використанням чотирьох секторів, кожен з яких представляв чверть кола міни, встановлювався вертикально, головною частиною донизу, на певній відстані від поверхні землі. Після детонації фіксувалася кількість влучень та пробивань дерев'яних щитів у кожному секторі, після чого розраховувалася щільність влучень та пробивань на квадратний метр.

Тому для прогнозування параметрів процесу природної фрагментації та комплексного аналізу отриманих результатів використовувалися результати експериментальних досліджень, аналітичні, чисельні та статистичні методи [9,11].

Швидкість осколка снаряда є векторною сумою початкової швидкості осколка, поступальної швидкості снаряда та його обертальної швидкості (за наявності обертання). Для мінометних снарядів характерна відсутність осьового обертання, тому початкову швидкість осколків можна наближено визначити за формулою Генрі за виразом:

$$v_{оск} = \sqrt{2ED \cdot \frac{C}{M} + 0.5}, \quad (1)$$

де  $2E$  - константа Генрі, яку можна визначити за виразом  $2E = 0.338 \cdot D$ , де  $D$  - швидкість детонації, що залежить від типу та густини вибухової речовини.

$M$  - маса металу корпусу снаряда,

$C$  - маса вибухової речовини [2,10].

Константу Генрі можна наблизити виразом  $2E = 0.338 \cdot D$ , де  $D$  - швидкість детонації, що залежить від типу та густини вибухової речовини.

У результаті чого з'ясовано, що середня початкова швидкість осколків для мін калібру 120, 82 та 60 мм. становить близько 1100 м/с, проте швидкість залежить від співвідношення маси корпусу до маси вибухової речовини в кожному сегменті. Тому діапазон швидкостей становитиме від 600 м/с (для осколків з донної частини) до 1200 м/с (для осколків з головної та циліндричної частин). Такі швидкості осколків осколкових полів мін пояснюються меншими навантаженнями на їхній корпус під час руху по стволу порівняно з артилерійськими снарядами, що в поєднанні з більшими кутами падіння та меншим співвідношенням початкової швидкості осколків забезпечують кращі показники ефективності при ураженні живої сили, яка діє в сучасних засобах індивідуального бронезахисту.

Тоді густину осколкового поля в кожному з секторів, що розташовані на певній відстані від епіцентру вибуху, визначаємо за формулою:

$$d_i(R) = \frac{N_{проб}}{A_i}, \quad (2)$$

де  $N_{проб}$  - кількість пробивань у дерев'яних панелях сектора,

$A_i$  - площа сектора,

$R$  - радіальна відстань від епіцентру вибуху до сектора.

Густина осколкового поля на квадратний метр, визначається методом інтерполяції. З урахуванням відстані від епіцентру вибуху до мішені, оскільки така відстань є радіусом ефективного ураження осколкових полів мін. Чим більший радіус ураження з задовільною густиною осколкового поля, тим вища ефективність міни.

Прогнозування розподілу маси осколків здійснюється за формулою Гельда з двома параметрами та загальною масою  $M_0$ , яка добре описує розподіли мас осколків природного

дроблення [3,6,8]:

$$M(n) = M_n \cdot (1 - e^{-B \cdot n^\gamma}), \quad (3)$$

де  $B$  та  $\gamma$  - емпірично визначені константи (порядку  $10^{-2}$  та  $2/3$  відповідно [8]),  
 $M_n$  - кумулятивна маса осколків,

$n$  - кумулятивна кількість осколків, починаючи з найважчого.

За гіпотезою Гельда, який зазначав, що для ефективних розрахунків необхідно виключити кілька найважчих осколків для отримання більш правдивих результатів. Тоді константи  $B$  та  $\gamma$  необхідно визначити шляхом математичних перетворень:

$$\frac{M_0 - M_{(n)}}{M_0} = -B \cdot n^\gamma$$

У такому разі наближену масу  $n$ -го осколка визначаємо за диференціюванням рівнянням [4,5,12]:

$$\ln \left[ \frac{M_0 - M_{(n)}}{M_0} \right] = -B \cdot n^\gamma, \quad (4)$$

$$\ln \left( -\ln \left[ \frac{M_0 - M_{(n)}}{M_0} \right] \right) = \ln(B) + \lambda \cdot \ln(n) \quad (5)$$

У залежності від щільності осколкового поля, яка залежить від відстані розраховується радіус ефективної зони ураження осколкового поля. У результаті чого з'ясовано, що радіус ефективності для мін калібру 120, 82 та 60 мм. становитиме близько 16,15 метрів, що вказує на високу ймовірність ураження живої сили противника в колі такого радіуса.

Аналіз розподілу маси осколків проводився за методом Гельда з використанням ітераційної процедури для визначення оптимальної загальної маси осколків  $M_{0,onn}$  та констант  $B$  та  $\lambda$ . доводить що, за винятком невеликих відхилень для осколків масою менш ніж 1 г середні значення констант  $B$  та  $\lambda$  відповідали значенням (порядку 0,01 та 0,75).

З логарифмічного розподілу маси осколків визначаються константа  $B$  та показник  $\gamma$  з відповідним коефіцієнтом кореляції  $r^2$  [1,4,5,10].

$$m(n) = \frac{dM(n)}{dn} = M_0 \cdot B \cdot \lambda \cdot n^{\gamma-1} \cdot e^{-B \cdot n^\gamma}, \quad (6)$$

де  $M_0$  - задана загальна маса, вважається неоптимальною. Оптимальна маса  $M_{0,onn}$  розраховується за формулою:

$$M_{0,onn} = M(n) \cdot (1 - e^{-B_b \cdot n^{2b}})^{-1} \quad (7)$$

Нові константи  $B_b$  та  $\lambda_b$  визначаються з використанням  $M_{0,onn}$ :

$$M(n) = M_{0,onn} (1 - e^{-B_b \cdot n^{2b}}) \quad (8)$$

Де процедура інтегрується до досягнення задовільного коефіцієнта кореляції, коли ( $r^2 \geq 0.99$ )

За допомогою використовувалися методи описової статистики для характеристики основних особливостей отриманих даних, зокрема зони розсіювання. Де середнє арифметичне значення  $N$  чисел осколків  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_N$  визначається як:

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_N}{N} = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N} \quad (9)$$

Тоді стандартне відхилення визначається як:

$$s = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N}, \quad (10)$$

де  $X_i - \bar{X}$  - представляє відхилення кожного з чисел  $X_i$  від середнього значення  $\bar{X}$ . Отже,  $s$  є середньоквадратичним відхиленням від середнього значення [9,10].

У результаті чого підтверджено, що статистичні гіпотези є твердженнями про розподіли ймовірностей. Оскільки для визначення статистичної значущості відмінностей між реальними та очікуваними результатами використовуються тести гіпотез, зокрема тести значущості та правила прийняття рішень. Максимальна ймовірність відхилення вірної нульової гіпотези називається рівнем значущості який зазвичай становить 0.05 або 0.01.

Тому, для аналізу результатів експериментальних випробувань застосовувався  $t$ -критерій Стьюдента, що дозволяє оцінити статистичну значущість відмінностей між середніми значеннями двох груп. Для двох вибірок розміром  $N_1$  та  $N_2$  з середніми  $\bar{X}_1$  та  $\bar{X}_2$  і стандартними відхиленнями  $s_1$  та  $s_2$ ,  $t$ -статистика розраховується за формулою[4,5]:

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{s_{X_1 - X_2}}, \quad (11)$$

де  $\bar{X}_1 - \bar{X}_2$  - стандартна похибка різниці середніх, яка обчислюється з урахуванням об'єднаного стандартного відхилення  $S_p$ :

$$s_{X_1 - X_2} = S_p \cdot \sqrt{\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}}, \quad (12)$$

$$S_p = \sqrt{\frac{(N_1 - 1)s_1^2 + (N_2 - 1)s_2^2}{N_1 + N_2 - 2}} \quad (13)$$

Де значення  $t$  може бути позитивним або негативним залежно від співвідношення середніх. Для оцінки значущості отриманого значення  $t$  воно порівнюється з критичним значенням  $t_{крит}$  з таблиці розподілу Стьюдента з відповідною кількістю ступенів свободи  $df = N_1 + N_2 - 2$  та обраним рівнем значущості [7,11].

Використання метод представлення залежності кількості осколків від їхньої середньої маси, а також метод аналізу відношень  $N_i/N$  та  $m_i/m$  до середньої маси осколків у результаті чого підтверджено вплив кількості та маси дрібних осколків на значення константи  $B$ . Де основними факторами, що впливають на значення константи  $B$  та загальний розподіл маси осколків, визначено: методи проведення експерименту, способи збору осколків, людські помилки, варіації термічної обробки матеріалів корпусу, коливання процесів кування та відмінності у застосованих технологіях виробництва. Аналіз літературних даних також вказує на можливі варіації густини вибухової речовини до 5%, що також може впливати на фрагментацію.

У зв'язку зі складністю використання обладнання для вимірювання швидкості осколків, для прогнозування їх початкових швидкостей використовувалася формула Генрі [2]. Що дозволяє отримати дані про початкові швидкості осколків залежно від їхнього розташування.

Застосування  $t$ -критерію Стьюдента мало на меті оцінити, чи є статистично значущі відмінності між середніми значеннями параметрів фрагментації різних випробувань. Було використано два підходи. У першому підході кожне окреме випробування порівнювалося із

середнім значенням усіх випробувань. У другому підході проводилося попарне порівняння всіх випробувань у межах кожного року.

Результати першого підходу показали, що максимальне значення t-статистики для кількості осколків становило 0,95, а для маси осколків - значно менші значення. Усі розраховані значення t були меншими за критичне значення (2,0555 для рівня значущості 0,05 та 26 ступенів свободи), що дозволило зробити висновок про відсутність статистично значущих відмінностей між окремими випробуваннями та середніми значеннями за відповідні роки з рівнем довіри 95%.

Другий підхід, що включав понад 700 попарних порівнянь, також не виявив статистично значущих відмінностей між окремими випробуваннями за всі роки. Максимальні значення t-статистики для кількості та маси осколків.

**Висновки.** У представленій роботі було проведено комплексний аналіз процесу відтворення характеристик фрагментації для *мін калібру 120, 82 та 60 мм* протягом декількох років експериментальних досліджень. У рамках дослідження було здійснено понад сорок експериментальних випробувань фрагментації в умовах закритого піщаного простору та на відкритому вимірковальному майданчику.

У результаті чого застосування формули Генрі дозволило визначити діапазон початкових швидкостей утворених осколків, який склав від 600 до 1200 за секунду, а також оцінити радіус ефективної дії ураження осколкових полів для *мін калібру 120, 82 та 60 мм*. становитиме близько 16,15 метрів. Проведено аналіз констант моделі Гельда, середні значення яких продемонстрували відповідність очікуваним теоретичним значенням. Було зроблено висновок щодо високої чутливості однієї з констант моделі до варіацій у кількості дрібних осколків, маса яких є меншою за 1 г, що, ймовірно, обумовлено особливостями організації експериментальних процедур та застосованими методами збору фрагментів.

Формули Гельда, в роботі було представлено в логарифмічному масштабі. Порівняльний аналіз результатів, отриманих при дослідженні констант моделі Гельда, залежність кількості осколків від їхньої середньої маси підтвердив припущення про можливу кореляційну залежність між збільшенням кількості та маси осколків.

Запропоновано новий метод експериментальних даних, що базується на представленні залежностей відносної кількості осколків та відносної маси осколків від середньої маси осколків. У рамках дослідження було ідентифіковано ключові фактори, що впливають на значення однієї з констант моделі Гельда, а саме: методологія проведення експерименту, способи збору утворених осколків, вплив людського фактору, варіації в процесі термічної обробки матеріалів корпусу боєприпасу, коливання технологічних параметрів процесів кування, а також відмінності в застосовуваних технологіях виробництва.

Застосування методів описової статистики виявило значні відхилення у кількості осколків, що належать до більших масових груп, а також у масі дрібних осколків.

Проведений аналіз можливих статистичних відмінностей між результатами окремих експериментальних випробувань із застосуванням статистичного критерію Стюдента не виявив статистично значущих розбіжностей між окремими випробуваннями та усередненими значеннями за відповідні роки проведення досліджень. Цей факт свідчить про відносну стабільність процесу фрагментації досліджуваних мін протягом усього періоду випробувань.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Army Combat Systems Test Activity Aberdeen Proving Ground MD. Static testing of high explosive munitions for obtaining fragment spatial distribution. 1993. 72 p.

2. 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).

3. Zecevic B., Terzic J., Catovic A. Influence of warhead design on natural fragmentation

performances. *Annals of DAAAM: Proceedings of the 15th International DAAAM Symposium, Vienna, 9 November 2004*. URL: <https://www.researchgate.net> (accessed 26.01.2025).

4. 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). Spiegel M. R. *Schaum's outline of the theory and problems of statistics*. 3rd ed. New York : McGraw-Hill, 1999. 538 p

5. 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.

6. 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.

7. 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.

8. 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).

9. 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.

10. Сидоренко Ю., Яковенко В. В. Про вплив кількості осколкоутворюючих дисків осколково-пучкового снаряда на значення параметрів осового осколкового поля. *Військово-технічний збірник*. 2012. № 6. С. 79–86.

11. 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.

12. Spiegel M. R. *Schaum's outline of theory and problems of statistics*. 3rd ed. New York : McGraw-Hill, 1999. 538 p.

## REFERENCES:

1. Army Combat Systems Test Activity Aberdeen Proving Ground MD, (1993). Static testing of high explosive munitions for obtaining fragment spatial distribution. Technical Report.

2. 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).

3. Zecevic, B., Terzic, J. and Catovic, A., (2004). “Influence of warhead design on natural fragmentation performances”. In: *Annals of DAAAM*, 9 November 2004, Vienna, Austria. Retrieved from URL: <https://www.researchgate.net> (accessed 26 January 2025).

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

5. 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-fugasnymy boiovymy 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.

6. 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.

7. Sydorenko, Yu., (2012). "Osoblyvosti protsesu vybukhovoho mettannia oskolkoutvoriuiuchykh dyskiv, 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.

8. Zecevic, B., Catovic, A., Terzic, T. та Kadic-Serdarevic, S., (2010). "Analysis of influencing factors of mortar projectile reproduction process on fragment mass distribution". V: 13th Seminar on New Trends in Research of Energetic Materials, 21–23 kvitnya 2010, Pardubice, Czech Republic. Pardubice: University of Pardubice. pp. 783–795. Retrieved from URL: <https://www.researchgate.net> (accessed 24 April 2025).

9. Tarasov, V., Zhuravlov, O., Iziumskiy, M. and Shyhimaha, N. V., (2018). "Metod analitychnoi otsinky rozmiriv oblasti rozsiuvannya 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.

10. Sydorenko, Yu. and Yakovenko, V. V., (2012). "Pro vplyv kilkosti oskolkoutvoriuiuchykh dyskiv 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.

11. Sydorenko, Yu. and Shlenskiy, P., (2011). "Chislennoe modelyrovannia rozleta produktov detonatsii i rasprostraneniia vozdushnykh udarnykh voln pry vzryve ploskogo zariada konechnykh rozmerov" [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.

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

**Ph. D. Nikul S.O.**

## **DISCUSSION OF THE FRAGMENTATION PROCESS OF RADIAL-AXIAL HIGH-EXPLASTIC FRAGMENTATION MINES**

*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: fragment ation process, high-explosive fragmentation projectile, statistical analysis, mathematic al modeling off ragment mass distribution, fragment fields, striking capabilities.*