

А. Е. Фарахова^{1✉}, И. Б. Палымский¹

Теоретическая оценка наибольшей суммарной энергии осколков при взрыве боеприпаса осколочного действия

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск,
Российская Федерация
e-mail: a.farakhova@mail.ru

Аннотация. Современные боеприпасы осколочного действия широко применяются в вооружённых силах для поражения живой силы и техники противника. Оптимизация их характеристик, в том числе суммарной энергии осколков, имеет решающее значение для повышения эффективности боевого применения. На основе формулы Покровского для скорости осколков получена формула для суммарной кинетической энергии осколков, вычислено ее максимальное значение. Выполнено сравнение полученного максимального значения для энергии осколков с соответствующими значениями для боеприпасов различных типов. Теоретическая оценка предельной энергии осколков позволяет усовершенствовать конструкции боеприпасов, повысить их летальность и снизить расход взрывчатых веществ при сохранении высокой эффективности поражения целей.

Ключевые слова: взрыв, энергия, боеприпасы осколочного действия

A. E. Farakhova^{1✉}, I. B. Palymskiy¹

Theoretical estimation of the highest total energy of fragments during the explosion of a fragmentation munition

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: a.farakhova@mail.ru

Abstract. Modern fragmentation ammunition is widely used in the armed forces to destroy enemy manpower and equipment. Optimizing their characteristics, including the total energy of the fragments, is crucial to increase the effectiveness of combat use. Based on Pokrovsky's formula for the velocity of fragments, a formula for the total kinetic energy of fragments is obtained, and its maximum value is calculated. The obtained maximum value for the energy of fragments is compared with the corresponding values for ammunition of various types. The theoretical assessment of the maximum energy of fragments makes it possible to improve the design of ammunition, increase their lethality and reduce the consumption of explosives while maintaining high target destruction efficiency.

Keywords: explosion, energy, fragmentation ammunition

Введение

Боеприпасы осколочного действия один из старейших и наиболее распространенных типов вооружения основного назначения, к которому относят не только осколочные, но и все виды осколочно-фугасных боеприпасов, т. е. разделение боеприпасов на осколочные и осколочно-фугасные в значительной мере условно.

Назначение осколочных боеприпасов поражение практически всех типов целей за исключением бетонированных, подводных и тяжело бронированных. Осколочные боеприпасы наносят повреждение главным образом высокоскоростным потоком поражающих элементов, метаемых взрывом заряда бризантного взрывчатого вещества. Поражающие элементы представляют собой либо осколки естественного или заданного дробления, либо являются готовыми поражающими элементами. В меньшей степени поражение наносят продукты детонации заряда ВВ, в связи с чем основные требования, предъявляемые к осколочным боеприпасам, сводятся к получению максимального количества убойных поражающих элементов при возможно большем радиусе поражения.

Осколочные боеприпасы предназначены для поражения живой силы и незащищённой техники за счёт разлёта осколков при взрыве. Их принцип действия основан на следующих этапах:

1. Подрыв заряда

- в боеприпасе содержится взрывчатое вещество, которое детонирует при срабатывании взрывателя (ударного, дистанционного или программируемого).

2. Разрушение корпуса

- взрыв создаёт мощную ударную волну, разрушающую корпус боеприпаса.

- корпус разлетается на множество мелких осколков (естественное осколкообразование), либо специальные заранее подготовленные поражающие элементы (стальные шарики, нарезные сегменты) разлетаются в заданном направлении (программируемое осколкообразование).

3. Поражающий эффект

- осколки разлетаются со скоростью 1000–2000 м/с, создавая плотное поражающее поле.

- основные поражающие факторы — кинетическая энергия осколков и ударная волна.

- чем ближе цель к эпицентру взрыва, тем выше вероятность поражения.

Оптимизация характеристик осколочных боеприпасов, в том числе суммарной энергии осколков, имеет решающее значение для повышения эффективности боевого применения. На основе формулы Покровского для скорости осколков получена формула для суммарной кинетической энергии осколков, вычислено ее максимальное значение. Выполнено сравнение полученного максимального значения для энергии осколков с соответствующими значениями для боеприпасов различных типов.

Методы и материалы

Оценку суммарной энергии осколков при взрыве боеприпаса осколочного действия проведем по выведенной из закона сохранения энергии формуле Покровского:

$$U = \frac{D}{2} \sqrt{\frac{\beta}{2 + \beta}}, \quad (1)$$

где D – скорость детонации; $\beta = \frac{m_{BB}}{M_0 - m_{BB}}$, – масса разрывного заряда боеприпаса, M_0 – общий вес боеприпаса.

И полученной на ее основе формуле для суммарной кинетической энергии осколков:

$$E_k = (M_0 - x) \frac{\frac{x}{M_0 - x}}{2 + \frac{x}{M_0 - x}}, \quad (2)$$

Дифференцируем E_k по x :

$$E'_k = \frac{2M_0^2 - 4M_0x + x^2}{(2M_0 + x)^2}, \quad (3)$$

и приравниваем результат к 0:

$$\begin{aligned} 2M_0^2 - 4M_0x + x^2 &= 0 \\ x_{1,2} &= M_0(2 \pm \sqrt{2}) \end{aligned} \quad (4)$$

Итак, $x_1 = M_0(2 - \sqrt{2})$ – оптимальное значение массы ВВ. Второй корень (4) отбрасываем, так как масса ВВ не может быть больше массы боеприпаса.

Определяем значение коэффициента нагрузки:

$$\begin{aligned} \beta_{opt} &= \frac{m_{BB}}{M_0 - m_{BB}} = \frac{x_1}{M_0 - x_1} = \frac{M_0(2 - \sqrt{2})}{M_0 - M_0(2 - \sqrt{2})}, \\ \beta &= \frac{2 - \sqrt{2}}{\sqrt{2} - 1} = \sqrt{2} \end{aligned} \quad (5)$$

И значение коэффициента наполнения:

$$\alpha_{opt} = \frac{m_{BB}}{M_0} = \frac{x_1}{M_0} = \frac{M_0(2 - \sqrt{2})}{M_0}. \quad (6)$$

Выразим E_k через α и M_0 :

$$\alpha = x / M_0, \quad x = \alpha \cdot M_0$$

$$E_k = \frac{x(M_0 - x)}{2M_0 - x} = \frac{\alpha M_0(M_0 - \alpha M_0)}{2M_0 - \alpha M_0} = M_0 \frac{\alpha(1 - \alpha)}{2 - \alpha}, \quad (7)$$

Величину E_k/M_0 (пропорциональна суммарной кинетической энергии осколков на единицу массы боеприпаса) изобразим как функцию коэффициента наполнения $0 < \alpha < 1$:

$$\frac{E_k}{M_0} = \frac{\alpha(1 - \alpha)}{2 - \alpha}, \quad (8)$$

Для расчёта значений коэффициента наполнения массу взрывчатого вещества и массу боеприпаса возьмем из справочных материалов [2].

Результаты

Вычислив среднее значение коэффициента наполнения α для различных видов боеприпасов осколочного действия и сравнив полученные значения с оптимальным, получаем результат, что при значении коэффициента нагрузки $\beta_{opt} = \sqrt{2} = 1,41$ или, что эквивалентно коэффициенту наполнения $\alpha_{opt} = 2 - \sqrt{2} = 0,586$ суммарная кинетическая энергия всей осколочной массы принимает максимальное значение.

Рассчитав значения коэффициентов наполнения, для осколочно-фугасных снарядов получаем $\alpha_{сн} = 0,155$, что составляет 26,4 % от оптимального значения; для осколочно-фугасных мин $\alpha_m = 0,203$ (34,6 %); для фугасных бомб $\alpha_b = 0,44$ (75 %).

Значения $\alpha_{сн}$, α_m , α_b и α_{opt} показаны на рис 1, причём $\alpha_{сн} < \alpha_m < \alpha_b < \alpha_{opt}$.

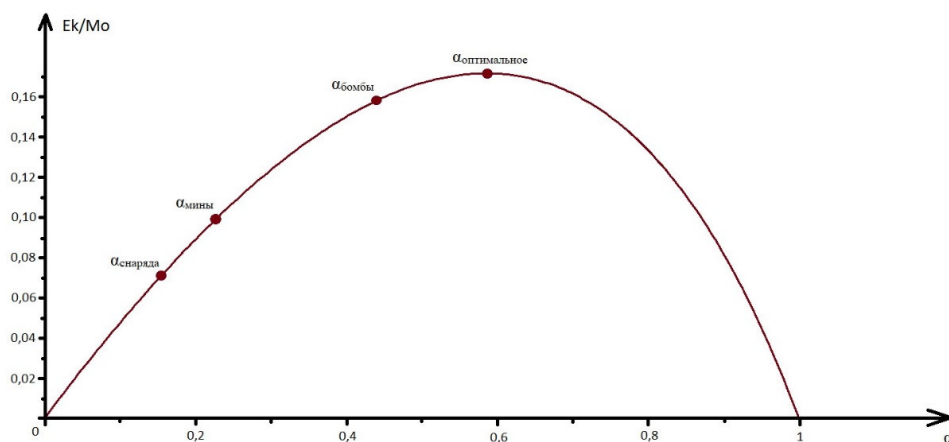


Рис. 1. Суммарная кинетическая энергия осколков как функция коэффициента наполнения.

По форме кривой видно, что для боеприпаса лучше иметь значение коэффициента наполнения меньше его оптимального значения, чем больше, так как при значении коэффициента наполнения большем оптимального кривая более крутая, что будет означать более быстрое уменьшение суммарной энергии осколочного поля. Для коэффициента наполнения для различных боеприпасов справедливо соотношение $\alpha_{сн} < \alpha_m < \alpha_b < \alpha_{opt}$. Наибольшую часть из возможной кинетической энергии осколков имеют бомбы и наименьшую – снаряды. Мины занимают в этом контексте промежуточное положение.

Заключение

Теоретическая оценка максимальной суммарной энергии осколков при взрыве боеприпаса осколочного действия является важным этапом в проектировании и модернизации вооружения. Проведённый анализ показал, что суммарная энергия осколков зависит от массы взрывчатого вещества и массы снаряда. Оптимизация этих параметров позволяет значительно повысить поражающий эффект боеприпаса, минимизируя потери энергии на нежелательные факторы, такие как ударная волна и тепловое излучение. Полученные результаты могут быть использованы для разработки новых моделей боеприпасов с улучшенными характеристиками. Из расчетов видно, что коэффициент наполнения для боеприпасов разный, но все значения меньше оптимального коэффициента наполнения.

Ближе всех к оптимальному значению коэффициента наполнения имеют бомбы, что связано с отсутствием значительных перегрузок при их полете. А наиболее отличается значение коэффициента наполнения от оптимального у снарядов, что обусловлено необходимостью выдерживать большие перегрузки при движении в стволе орудия. Мины в этом контексте занимают промежуточное положение.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 1. Взрывные явления. Оценка и последствия; В 2х кн. Пер. с англ. / Бейкер У., Кокс П., Уэстайн П. и др.; Под ред. Я.Б. Зельдовича, Б. Гельфанда.- М.: Мир, 1986.- 319 с.(т.1), 384 с.
2. Селиванов В.В. Боеприпасы: учебник: в 2т. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. – 508 с.
3. Физика взрыва / Под ред. Л.П. Орленко.- В 2 т.-М.: Физматлит, 2002.

© А. Е. Фарахова, И. Б. Палымский, 2025