

*И. Б. Палымский¹**

Оценка эффективности осколочно-фугасных боеприпасов

¹ Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики,
г. Новосибирск, Российская Федерация
* e-mail: palymsky@yandex.ru

Аннотация. Эффективность действия осколочного боеприпаса существенным образом зависит от величины коэффициента нагрузки – массы взрывчатого вещества отнесенной к массе оболочки. Считая, что осколочные поражающие элементы имеют небольшую массу, находится величина минимального значения коэффициента нагрузки для осколочного боеприпаса, предельная толщина пробиваемого осколками стального листа и исследуется зависимость толщины пробиваемой преграды от формы осколка.

Ключевые слова: осколочный боеприпас, компактный поражающий элемент, коэффициент нагрузки, взрывчатое вещество, осколочное поле

*I. B. Palymskiy¹**

Evaluation of the efficiency of high-explosive ammunition

¹ Siberian State University of Telecommunications and Information Sciences, Novosibirsk,
Russian Federation
* e-mail: palymsky@yandex.ru

Abstract. The effectiveness of the action of a fragmentation munition significantly depends on the value of the load factor - the mass of the explosive related to the mass of the shell. Assuming that fragmentation submunitions have a small mass, the value of the minimum value of the load factor for fragmentation ammunition is found, the maximum thickness of the penetration of the steel sheet by fragments, and the dependence of the penetration thickness on the shape of the fragment is investigated.

Keywords: fragmentation ammunition, compact submunition, load factor, explosive, fragmentation field

Введение

При конструировании осколочно-фугасных боеприпасов, большую роль имеет решение не только технологических вопросов генерации поражающих элементов [1-4], но и умение оценивать минимальный вес разрывного заряда (минимальное значение коэффициента нагрузки) [5-6], так как использование осколочных боеприпасов с недостаточной массой разрывного заряда не обеспечит необходимой для пробития преграды энергией образующие осколки и применение такого боеприпаса становится неэффективным.

Имеющиеся формулы для убийной скорости и начальной скорости осколков в их первоначальном виде [7,8] не позволяют оценить минимальное значение коэффициента нагрузки, так как они не обеспечивают равномерное распределение

кинетической энергии по массам осколков и более того, кинетическая энергия осколка растет с ростом его массы.

Показано, что после необходимой доработки предложенных ранее формул для убойной скорости и начальной скорости осколков [7,8], становится возможна оценка минимального значения коэффициента нагрузки. Такая доработка формул выполнена на основе принципа равномерного распределения энергии по массам частиц, путем изменения вида степенной зависимости скорости от массы частицы. В этой связи заметим, что принцип равномерного по степеням свободы распределения энергии молекулы хорошо известен в физике в молекулярно-кинетической теории [9-11].

При оценке эффективности боевого применения осколочно-фугасных боеприпасов важно уметь оценивать толщину пробиваемой осколком преграды, так как очевидно, что эта характеристика существенно отличается при взрыве бомбы, мины, недальнобойного или дальнобойного снаряда. При этом может анализироваться предельная (максимальная) толщина пробиваемой преграды, толщина пробиваемой преграды как функция коэффициента нагрузки или как функция относительного удлинения поражающего элемента, то есть значения параметра формы.

Конечно, вопросы пробиваемости преграды глубоко исследовались многочисленными исследователями ввиду их огромного военно-прикладного значения, но, при этом глубина пробития преграды рассматривалась как функция массы и скорости поражающего элемента [6-8]. Однако, до сих пор остается не исследованной функциональная связь между толщиной пробиваемой преграды и значением коэффициента нагрузки боеприпаса или параметром формы поражающего элемента. В [7] отмечается, что при конструировании осколочно-фугасных боеприпасов зачастую не уделяется должного внимания влиянию параметра формы поражающего элемента на толщину пробиваемой преграды.

Специально отметим, что в настоящей работе анализируется только зависимость глубины пробивания преграды от величины коэффициента нагрузки и значения параметра формы. Однако, при таком подходе никаким образом не учитываются конструкторские и технологические особенности производства боеприпасов, связанные с генерацией и размещением поражающих элементов внутри оболочки [12-14], что несомненно также важно. При этом особое место в такого рода исследованиях занимает вычислительный эксперимент, проводимый на основе различных численных моделей [15-17].

Методика исследования

Любое воздействие осколочного поражающего элемента на живую силу, небронированную или легкобронированную технику является энергетическим, то есть главным образом эффективность воздействия осколочного поля определяется энергией поражающих элементов. При этом естественно считать, что энергия распределена равномерно по массам осколков, то есть что все осколки имеют примерно одинаковую кинетическую энергию. При использовании формулы для убойной скорости, также надо учитывать, что убойная энергия также должна

быть одинаковой для осколков любой массы. Заметим, что требование о равномерном распределении кинетической энергии по массам осколков аналогично хорошо известному предположению о равномерном распределении энергии по степеням свободы в молекулярно-кинетической теории [9-11]. Причем, при классическом подходе считается, что молекулы имеют жесткую структуру и учитываются только поступательные и вращательные степени свободы [9], однако, в современном представлении молекулы не являются жесткой системой и необходимо также учитывать еще и колебательные степени свободы [10,11].

Таким образом, широко используемая формула Покровского для начальной скорости осколков при взрыве цилиндрического боеприпаса и имеющая вид [7.8]:

$$v_0 = \frac{D}{2} \sqrt{\frac{\beta}{2+\beta}} \quad (1)$$

должна быть модифицирована таким образом, чтобы энергия осколков была бы одинаковой, а не росла бы до бесконечности с ростом их массы. Здесь D – скорость распространения детонационной волны при взрыве взрывчатого вещества (ВВ), а $\beta = m_{вв}/M$ – коэффициент нагрузки, определенный как масса разрывного заряда, отнесенная к массе оболочки. При модификации формулы (1) мы будем учитывать наиболее важный с точки зрения практики диапазон осколков массой порядка 1 г. Скорость детонации D ниже, для определенности, всегда принимается равной 6700 м/с, что соответствует выбору тротила в качестве взрывчатого вещества.

В настоящей работе равномерное распределение кинетической энергии по массам осколков достигается учетом их массы m и формула (1) при этом принимает вид:

$$v_0 = \frac{D}{2 \cdot m^{1/2}} \sqrt{\frac{\beta}{2+\beta}} \quad (2)$$

Можно видеть, что в рассматриваемом диапазоне масс осколков порядка 1 г, даваемые формулами (1) и (2) результаты близки, но энергии любых осколков, начальная скорость которых вычисляется по формуле (2), равны между собой.

Для вычисления убойной скорости осколков часто используется формула [7]:

$$v_{уб} = 145 \cdot \frac{h\Phi}{m^{1/3}}, \quad (3)$$

здесь h – стальной эквивалент цели, где параметр формы Φ осколка определен формулой:

$$\Phi = \frac{S_m}{V^{2/3}}, S_m = 0.5 \cdot (ab + bc + ac),$$

здесь S_m - среднее сечение мишени осколка, определенное по характерным значениям его длины, высоты и ширины a , b и c , а V – есть объем осколка. Если не оговорено противное, то $h = 3$ мм, а $\Phi = 2$.

Можно видеть, что выписанная формула (3), как и (1) не удовлетворяет условию равномерного распределения энергии по массам осколков, причем кинетическая энергия осколка увеличивается с ростом его массы.

Поэтому в данной работе предлагается следующая модификация формулы (3):

$$v_{y\phi} = 145 \cdot \frac{h\Phi}{m^{1/2}} \quad (4)$$

Можно видеть, что в рассматриваемом диапазоне масс осколков порядка 1г, даваемые формулами (3) и (4) значения убойной скорости близки между собой, но убойные энергии любых осколков, убойная скорость которых вычисляется по формуле (4), равны между собой.

Очевидно, что рассматриваемый боеприпас может представлять какую-либо практическую ценность, только если при его подрыве начальная скорость осколков v_0 больше убойной скорости $v_{y\phi}$ и поэтому определенная часть теоретических рассмотрений данной части работы основана на сравнении в соответствующих условиях даваемой формулой (2) начальной скорости осколков и вычисленной по формуле (4) его убойной скорости.

Интересным и важным является ответ на вопрос о зависимости предельной толщины пробития преграды h от значения параметра формы Φ . Для определенности зафиксируем значение убойной скорости такой, какой достаточно для пробития преграды со стальным эквивалентом $h = 3$ мм поражающим элементом в виде кубика со значением параметра формы Φ равным 1.5. Поражающий элемент здесь выбран в виде удлиненного параллелепипеда с относительной длиной сторон 1:1: ℓ .

С учетом сказанного, имеем:

$$v_{y\phi} = 145 \cdot \frac{3 \cdot 1.5}{m^{1/3}} = 145 \cdot \frac{h}{m^{1/3}} \cdot \frac{2 \cdot \ell + 1}{2 \cdot \ell^{2/3}}, \quad \Phi = \frac{2 \cdot \ell + 1}{2 \cdot \ell^{2/3}}.$$

Откуда находим, что:

$$h = \frac{9 \cdot \ell^{2/3}}{2 \cdot \ell + 1}, \quad h \approx 3.96 \cdot \ell^{-0.3} \quad (7 \leq \ell \leq 15). \quad (5)$$

Исследуя приведенное соотношение можно получить зависимость толщины пробития от относительного удлинения поражающего элемента, то есть от значения его параметра формы. Представляет особый интерес рассмотрение соотношения (5) при значительном относительном удлинении поражающего элемента ($7 \leq \ell \leq 15$), так как именно здесь наблюдается существенное уменьшение толщины пробития преграды поражающим элементом.

Все числовые и символьные вычисления в данной работе выполнены с помощью программы символьных вычислений Maple V [18,19], а для графической

обработки полученных результатов использовалась программа инженерных расчетов MathCAD [20,21].

Результаты

Сначала определим минимальные значения коэффициента нагрузки β , при уменьшении до которого боеприпас становится безопасным (не поражает цель с выбранным значением стального эквивалента $h = 3$ мм) и в этом смысле подрыв его становится бессмысленным.

Приравнявая даваемое формулой (2) выражение для начальной скорости осколков v_0 и вычисленной по формуле (4) его убойной скорости $v_{уб}$, последовательно находим, что:

$$145 \cdot \frac{h\Phi}{m^{1/2}} = \frac{D}{2 \cdot m^{1/2}} \sqrt{\frac{\beta}{2+\beta}}, \quad C = \sqrt{\frac{\beta}{2+\beta}}, \quad C = \frac{290h\Phi}{D} \approx 0.26.$$

Отсюда получаем минимальное для выбранных условий значение β :

$$\beta_{\min} = \frac{2 \cdot C^2}{1 - C^2} \approx 2C^2(1 + C^2) = 0.144.$$

Приведем данные, показывающие значения коэффициента нагрузки β последовательно для фугасных авиабомб, осколочно-фугасных мин и снарядов разных калибров [7].

Для фугасных авиабомб (таблица 1) среднее значение коэффициента нагрузки β равно 0.787 и с большим, почти пятикратным запасом выполнено $\beta < \beta_{\min}$.

Таблица 1

Значения коэффициента нагрузки для фугасных авиабомб

Наименование бомбы	M - вес бомбы, кг	$m_{вв}$ – вес ВВ, кг	$\beta = m_{вв}/(M - m_{вв})$
ФАБ – 250	250	99	0.655
ФАБ – 500	500	213	0.742
ФАБ – 1500	1400	675	0.931
ФАБ – 5000	4900	2207	0.820

У фугасных мин значения коэффициента нагрузки меньше, чем у бомб (таблица 2). Но и в этом случае среднее значение коэффициента нагрузки β равно 0.265 и всегда $\beta < \beta_{\min}$.

Интересная закономерность прослеживается для фугасных осколочно-фугасных снарядов (таблица 3). У недальнобойного боеприпаса Ф-625 значение коэффициента нагрузки равно 0.305, что более чем в два раза превосходит его минимальное значение. Однако у дальнебойных боеприпасов (помечены в таблице 3 буквой Д) значения коэффициента нагрузки β примерно равны его минималь-

ному значению. Это обусловлено тем, что при конструировании дальнобойных боеприпасов, для обеспечения большой дальности полета снаряда, вес порохового (разгонного) заряда максимально увеличивается за счет уменьшения веса разрывного.

Таблица 2

Значения коэффициента нагрузки для фугасных мин

Мина, калибр, материал	M - вес мины, кг	$m_{\text{вв}}$ - вес ВВ, кг	$\beta = m_{\text{вв}}/(M - m_{\text{вв}})$
Ф – 853, Ф – 852, 160 мм, чугун	40.87	7.45	0.223
Ф – 853А, Ф – 853АУ, 160 мм, чугун	41.14	7.72	0.231
Ф – 625, 203 мм, сталь	41.14	9	0.280
Ф – 625, 203 мм, сталь	130.70	31.95	0.323

Таблица 3

Значения коэффициента нагрузки для осколочно-фугасных снарядов

Снаряд, калибр	M - вес снаряда, кг	$m_{\text{вв}}$ - вес разрывного заряда, кг	$\beta = m_{\text{вв}}/(M - m_{\text{вв}})$
Ф – 572, 180 мм	88	10.7	0.138 (Д)
Ф – 625, 203 мм	100	23.4	0.305
Ф – 625, 203 мм	100	15.8	0.188 (Д)
Ф – 625, 203 мм	133	18.8	0.165 (Д)
Ф – 625, 203 мм	133	15.6	0.133 (Д)

Даже с учетом некоторого завышения полученного теоретически минимального значения коэффициента нагрузки, из приведенных в таблице 3 данных следует, что по эффективности поражающего действия при подрыве дальнобойные боеприпасы уступают недальнобойным.

Теперь оценим толщину пробития стального листа осколками, полученными при подрыве осколочно-фугасного боеприпаса.

Для этого приравниваем выражения для убойной и начальной скоростей осколка и находим, что:

$$145 \cdot \frac{h\Phi}{m^{1/2}} = \frac{D}{2 \cdot m^{1/2}} \sqrt{\frac{\beta}{2+\beta}}, \quad C = \sqrt{\frac{\beta}{2+\beta}}, \quad C = \frac{580h}{D}.$$

Откуда окончательно получаем, что:

$$h = \frac{2C^2}{1-C^2}.$$

Значение максимальной толщины пробития стального листа h получается из условия обращения в нуль знаменателя последнего выражения, поэтому

$$C = 1, \quad \frac{580h}{D} = 1, \quad h_{\max} = D / 580 = 6700 / 580 = 11.55 \text{ мм.}$$

Здесь надо учитывать, что значение максимальной начальной скорости для осколка массой порядка 1 г, вычисляемое по формуле (2) при стремлении к бесконечности коэффициента нагрузки β (много ВВ или тонкая оболочка), равно половине скорости детонационной волны, что в данных условиях равно 3.35 км/с.

При этом никаким образом не учитывается, что такая высокая начальная скорость ударника обуславливает кратерный механизм соударения, при котором глубина внедрения ударника заметно уменьшается по сравнению с аэродинамическим механизмом, что существенным образом завышает полученное значение максимальной толщины пробития [8].

Используя известную эмпирическую формулу [8] для предельной глубины пробития стальной преграды, получим:

$$h_{\text{пред}} = 1.11 \cdot m^{1/3} \cdot v_0^{2/3} = 2.5 \text{ мм.}$$

С учетом вышесказанного замечания о неучтенном переходе от аэродинамического к кратерному механизму внедрения и обусловленной этим увеличением глубины пробития, представляется естественным, что $h_{\max} < h_{\text{пред}}$. Полученные данные позволяют считать, что полученная теоретически величина предельной глубины пробития завышена примерно в четыре раза.

Приведем диаграмму, показывающую глубину пробития h как функцию коэффициента нагрузки (рис. 1). На рис. 1 сплошной линией показана теоретическая глубина пробития, пунктиром – максимальная глубина пробития, а заштрихованная область при малом β соответствует отсутствию пробития препятствия со стальным эквивалентом 3 мм. Знаками показаны значения, характерные для бомб, мин, недальнобойных и дальнобойных снарядов.

Толщина пробития описывается функцией:

$$h = 11.55 \cdot \sqrt{\frac{\beta}{2 + \beta}}.$$

При $\beta \ll 1$ (мало ВВ или толстый корпус) и $\beta \gg 1$ (много ВВ или тонкий корпус) толщины пробития могут быть описаны асимптотическими выражениями:

$$h = 8.168 \cdot \sqrt{\beta} \quad (\beta \ll 1), \quad h = 11.55 \cdot (1 - 1/\beta) \quad (\beta \gg 1).$$

Использование последней формулы позволяет оценить степень близости толщины пробития к ее максимальному значению.

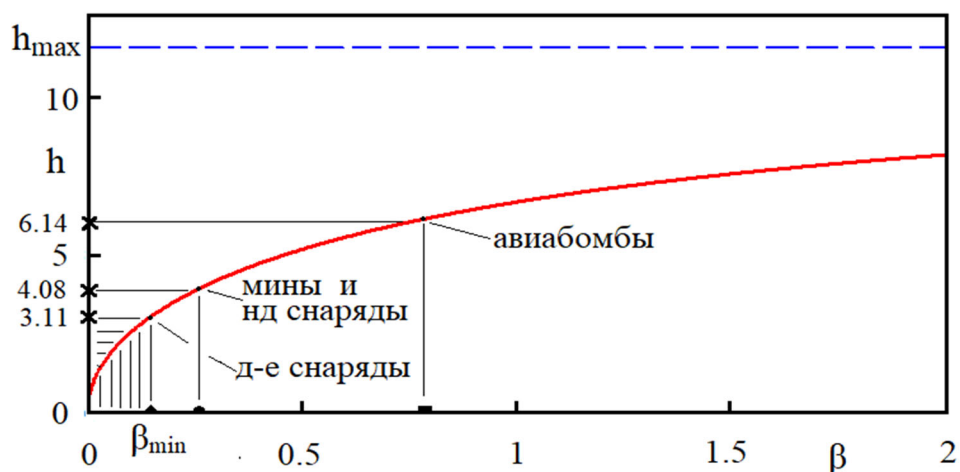


Рис. 1. Толщина пробития как функция коэффициента нагрузки

Теперь исследуем даваемую формулой (5) зависимость предельной толщины пробития h от величины относительного удлинения поражающего элемента ℓ и оценим степень уменьшения h при увеличении ℓ .

На рис. 2 сплошной линией приведена зависимость (5) и пунктиром - приближенная степенная зависимость, приведенная там же и дающая хорошее приближение при $7 \leq \ell \leq 15$.

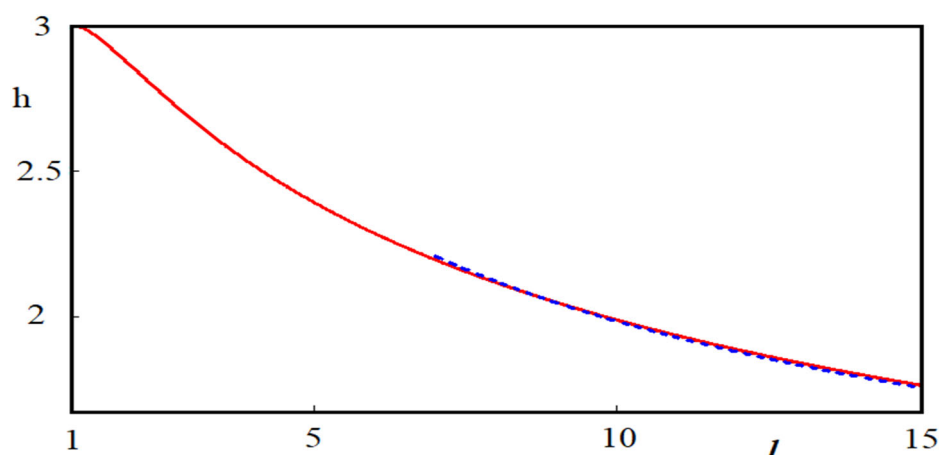


Рис. 2. Толщина пробития как функция относительного удлинения поражающего элемента

Из рис. 2 можно видеть, что использование длинных поражающих элементов с $\ell \approx 15$ приводит к почти двукратному уменьшению предельной толщины пробития h . Приведенные на рис. 2 показывают, что толщина пробиваемой преграды существенным образом зависит от формы осколочного элемента.

Более того, переписав соотношение (5) в виде:

$$h(l) = \frac{3 \cdot h(1) l^{2/3}}{2l+1}, \quad (6)$$

где $h(1)$ есть толщина пробития кубическим поражающим элементом (при $l=1$) и решая уравнение:

$$\frac{3 \cdot 4.08 l^{2/3}}{2l+1} = 3.11,$$

получим, что для осколков с относительным удлинением β пробиваемость мин и недальнобойных снарядов понизится до значения, соответствующего дальнобойным снарядам.

Рассуждая по аналогии, можно получить, что при относительном удлинении 6.88, осколки мин и недальнобойных снарядов уже не смогут пробить преграду со стальным эквивалентом $h = 3$ мм.

Обсуждение

Как уже говорилось выше, любой боеприпас может представлять какую-либо практическую ценность, только если при его подрыве начальная скорость осколков v_0 больше их убойной скорости $v_{уб}$ и поэтому некоторые теоретические выводы можно получить из сравнения выражений для начальной скорости осколков и их убойной скорости.

В самом деле, рассматривая формулу Покровского (1) для начальной скорости осколков, можно получить следующие асимптотики:

$$v_0 = 0.354 \cdot D \cdot \sqrt{\beta} \quad (\beta \ll 1), \quad v_0 = 0.5 \cdot D \cdot (1 - 1/\beta) \quad (\beta \gg 1).$$

Отсюда видно, что при малых значениях коэффициента нагрузки β начальная скорость осколков следует корневому закону и при некотором, критическом значении коэффициента нагрузки начальная скорость осколка станет меньше его убойной скорости. Таким образом, должно существовать минимальное значение коэффициента нагрузки β_{\min} , которое, в общем случае зависит от выбора стального эквивалента преграды h и значения параметра формы осколка Φ .

Приведенные в табл. 1 данные показывают, что у авиабомб среднее значение коэффициента нагрузки β равно 0.787 и с большим, почти пятикратным запасом выполнено $\beta < \beta_{\min}$. Соответственно и предельная толщина пробития у авиабомб наибольшая, а именно, осколок массой порядка 1 г должен пробивать преграду со стальным эквивалентом больше 6 мм (рис. 1). Возможность иметь большую массу разрывного заряда у авиабомб связана с отсутствием разгонного порохового заряда.

Как это можно видеть по данным приведенным в табл. 3, все известные осколочно-фугасные снаряды патронного заряжания по значению коэффициента нагрузки разделяются на две группы. В первую группу входят недальнобойные боеприпасы, где значение коэффициента нагрузки равно 0.305 и более чем в два раза превосходит его минимальное значение. Ко второй группе относятся дальнобойные боеприпасы, у которых значения коэффициента нагрузки β примерно

равны минимальному. Такое разделение обусловлено тем, что при конструировании дальнобойных боеприпасов, для обеспечения большой дальности полета снаряда, вес порохового разгонного заряда максимально увеличивается за счет уменьшения веса разрывного. Соответственно, из-за необходимости иметь разгонный пороховой заряд, осколочно-фугасные снаряды существенно уступают авиабомбам по толщине пробития преграды, которая, в этом случае, примерно равна 3 и 4 мм, для дальнобойных и недальнобойных снарядов, соответственно.

В этом контексте фугасные мины по значению коэффициента нагрузки близки к недальнобойным снарядам (таблица 2). Среднее значение коэффициента нагрузки β для фугасных мин 0.265 и всегда $\beta < \beta_{\min}$, а предельная толщина пробития совпадает с ее значением у недальнобойных снарядов – около 4 мм.

С другой стороны, даже при бесконечно большом значении параметра нагрузки β начальная скорость осколка не превышает половины скорости детонации D и это обуславливает существование предельной толщины h_{\max} пробиваемой преграды (пунктирная линия на рис. 1).

При $\beta \gg 1$ (много ВВ или тонкий корпус) толщина пробития может быть описана асимптотическим выражением:

$$h = 11.55 \cdot (1 - 1/\beta) \quad (\beta \gg 1).$$

Использование данной формулы позволяет оценить степень близости толщины пробития к ее предельному значению по величине коэффициента нагрузки.

Здесь надо заметить, что полученное значение предельной толщины пробития (11.55 мм) существенно больше экспериментального значения (2.5 мм), что обусловлено отсутствием учета смены аэродинамического механизма соударения кратерным. Последнее обстоятельство существенным образом завышает значение предельной толщины пробития [8].

Хорошо известно, что толщина пробиваемой осколочным элементом преграды существенным образом зависит от формы поражающего элемента [7]. В свою очередь, форма поражающего элемента может быть охарактеризована значением параметра формы, при вычислении которого для определенности предполагается, что поражающий осколочный элемент имеет форму параллелепипеда с относительными размерами сторон 1:1: ℓ .

На рис. 2 сплошной линией показана даваемая формулой (5) зависимость толщины пробития h от величины относительного удлинения поражающего элемента ℓ и пунктиром - приближенная степенная зависимость, приведенная там же и дающая хорошее приближение при $7 \leq \ell \leq 15$.

Можно видеть, что использование длинных поражающих элементов с $\ell \approx 15$ приводит к почти двукратному уменьшению предельной толщины пробития h .

Рассматривая соотношение (6), полученное путем модификации соотношения (5), можно получить, что для осколков с относительным удлинением ℓ пробиваемость мин и недальнобойных снарядов понизится до значения, характери-

зующего дальнобойные снаряды. И более того, при относительном удлинении 6.88, осколки мин и недальнобойных снарядов уже не смогут пробить преграду со стальным эквивалентом $h = 3$ мм.

Заключение

Путем теоретических рассмотрений вычислено значение минимального веса разрывного заряда (минимальное значение коэффициента нагрузки), при котором недостаточная масса разрывного заряда уже не обеспечивает необходимую для пробития преграды со стальным эквивалентом $h = 3$ мм энергию осколков и применение такого боеприпаса становится неэффективным.

Для выполнения теоретических рассмотрений найденные в литературе формулы для убойной скорости и начальной скорости осколков были модифицированы, так как в их первоначальном виде они не обеспечивают равномерное распределение кинетической энергии по массам осколков и более того, кинетическая энергия осколка растет с ростом его массы. Модификация формул выполнена на основе принципа равномерного распределения энергии по массам частиц, путем изменения вида степенных зависимостей скоростей от массы частицы.

Приведенный анализ показал, что у авиабомб среднее значение коэффициента нагрузки β равно 0.787 и условие $\beta < \beta_{\min}$ выполнено с большим, почти пятикратным запасом. Соответственно и предельная толщина пробития у авиабомб наибольшая, а именно, осколок массой порядка 1 г должен пробивать преграду со стальным эквивалентом больше 6 мм. Возможность иметь большую массу разрывного заряда у авиабомб связана с отсутствием порохового разгонного заряда.

Можно видеть, что все известные осколочно-фугасные снаряды патронного заряжания по значению коэффициента нагрузки разделяются на две группы. В первую группу входят недальнобойные боеприпасы, где значение коэффициента нагрузки более чем в два раза превосходит его минимальное значение. Ко второй группе относятся дальнобойные боеприпасы, у которых значения коэффициента нагрузки β порядка минимального. Такое разделение обусловлено тем, что при конструировании дальнобойных боеприпасов, для обеспечения большой дальности полета снаряда, вес разгонного порохового заряда максимально увеличивается за счет уменьшения веса разрывного. Как следствие, необходимость иметь разгонный пороховой заряд существенно, по сравнению с авиабомбами, понижает толщину пробиваемой осколками преграды – примерно до 3 и 4 мм, для дальнобойных и недальнобойных снарядов, соответственно.

Для разгона боеприпаса в стволе миномета, фугасные мины снаряжаются основным метательным зарядом, пакетами метательных зарядов или пакетами дальнобойных метательных зарядов и в этом контексте они оказываются близкими к недальнобойным снарядам. Среднее значение коэффициента нагрузки β для фугасных мин 0.265 и всегда $\beta < \beta_{\min}$, а предельная толщина пробития совпадает с ее значением у недальнобойных снарядов – около 4 мм.

Устремляя к бесконечности значение коэффициента нагрузки β (много ВВ или тонкая оболочка), получено значение максимальной толщины пробития h_{\max}

= 11.55 мм, что существенно больше экспериментального значения (2.5 мм). Последнее обстоятельство обусловлено отсутствием учета смены аэродинамического механизма соударения кратерным, что существенным образом завышает значение максимальной толщины пробития.

Выполнено исследование толщины пробития преграды h в зависимости от величины относительного удлинения поражающего элемента.

Показано, что использование длинных поражающих элементов с относительным удлинением порядка 15 приводит к почти двукратному уменьшению толщины пробития h .

Показано, что для осколков с относительным удлинением 6 пробиваемость мин и недальнобойных снарядов понижается до значения, соответствующего дальнобойным снарядам. И более того, при относительном удлинении 6.88, осколки мин и недальнобойных снарядов уже не смогут пробить преграду со стальным эквивалентом $h = 3$ мм.

В заключение подчеркнем, что в настоящей работе анализируется только влияние относительного количества разрывного ВВ (коэффициента нагрузки) и параметра формы на пробиваемость преграды. Однако, при таком подходе никак не учитываются конструкторские и технологические особенности производства боеприпасов, связанные с генерацией и размещением поражающих элементов внутри оболочки [12-14], что несомненно важно и это предполагается сделать в ближайшей перспективе. Большое значение в таких исследованиях имеет использование различных численных методик [15-17].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Губин С.Г. Эффективность стрельбы из вооружения боевых машин и стрелкового оружия : учебное пособие. – Новосибирск: СГГА, 2012. – 158 с.
2. Селиванов В.В. и др. Боеприпасы : учебник для технических вузов в двух томах. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. – т.2. – 551 с.
3. Курепин А.Е. Основы проектирования боевых частей управляемых ракет : сборник статей под ред Артамонова И.О. – Дзержинск: АО «ГосНИИмаш», 2018. – 368 с.
4. Миропольский Ф.П. Авиационные средства поражения : учебник. – М.: Военное изд-во, 1995. – 225 с.
5. Одинцов В. А. Боевые части зенитных управляемых ракет // Техника и вооружение. – 2001. – № 3. – С.16-20.
6. Беляев В.А. Основы проектирования боевых частей тактических и оперативно-тактических ракет : учебное пособие. – Бийск: Изд-во Алтайского. государственного технического университета, 2021. – 16 с.
7. Балаганский И. А., Мержиевский Л. А. Действие средств поражения и боеприпасов : учебное пособие. – Новосибирск: НГТУ, 2017. – 408 с.
8. Селиванов В.В. и др. Средства поражения и боеприпасы : учебник для технических вузов. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 984 с.
9. Васечкин В.Н. Статистическая физика и термодинамика : курс лекций для студентов технических вузов. – Новосибирск: НВВКУ, 2009. – 74 с.
10. Ваганова Л.А. Физика. Юнита 2. Основы молекулярной физики и термодинамики : учебное пособие для студентов Современного Гуманитарного Университета. – М.: СГУ, 2005. – 111 с.

11. Трофимова Т.И. Краткий курс физики : учебное пособие для вузов. – М.: Абрис, 2012. – 352 с.
12. Гуськов А. В. Надежность технических систем и техногенный риск : учебное пособие. – Новосибирск: НГТУ, 2016. – 424 с.
13. Гуськов А. В. Технологические процессы обработки металлов при производстве снарядов : учебное пособие. – Новосибирск : НГТУ, 2016. – 183 с.
14. Фендриков Н.М., Яковлев В.И. Методы расчетов боевой эффективности вооружения : монография. – М.: Воениздат, 1971. – 224 с.
15. Мержиевский Л. А. Численное моделирование пробивания преград цилиндрическим ударником : сборник научных трудов. – Новосибирск: ИГ СО РАН СССР, 1984. – С. 86–91.
16. Merzhievsky L.A., Resnynsky A.D. The role of numerical simulation in the study of high-velocity impact // Inter. Journal of Impact Engineering. – 1995. – V.17. – P. 559–570.
17. Агурейкин В.А., Крюков Б.П. Метод индивидуальных частиц для расчета течений многокомпонентных сред с большими деформациями // Численные методы механики сплошной среды. – Новосибирск. – 1986. – Т.17. – № 1. – С.17–31.
18. Манзон Б.М. MAPLE V Power Edition : монография. – М.: Информационно-издательский дом “Филинь”, 1998. – 240 с.
19. Дьяконов В.П. Математическая система MAPLE V R3/R4/R5 : монография. – М.: Солон, 1998. – 399 с.
20. Дьяконов В.П. Справочник по MathCAD Plus 7.0 PRO : монография. – М.: СК ПРЕСС, 1998. – 345 с.
21. Дьяконов В.П. Справочник по MathCAD Plus 6.0 PRO : монография. – М.: СК ПРЕСС, 1997. – 336 с.

© И. Б. Палымский, 2023