

УДК: 623.451.4.083.1

DOI: 10.53816/20753608_2022_3_76

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ПОДХОДОВ
К ОЦЕНКЕ УДАРНОГО ДЕЙСТВИЯ ФУГАСНЫХ СНАРЯДОВ**
**THE USE OF DIFFERENT APPROACHES TO ASSESSING THE IMPACT
OF OF HIGH-EXPLOSIVE FRAGMENTATION PROJECTILES**

По представлению чл.-корр. РАРАН Б.Э. Кэрта

А.С. Алешин^{1,2}, В.А. Чубасов^{2,3}, А.М. Сазыкин^{1,3}

¹АО «НПО Спецматериалов», ²БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова,

³Михайловская военная артиллерийская академия

A.S. Aleshin, V.A. Chubasov, A.M. Sazykin

В статье рассматриваются различные подходы к оценке ударного действия фугасных снарядов. Авторами установлено, что сложность и скоротечность процессов, сопровождающих ударное действие, создают трудности для определения законов проникания снаряда в твердые преграды. В связи с чем делается вывод о том, что все математические выражения (формулы), используемые для подсчета глубины проникания снаряда в преграду, а также времени проникания в той или иной степени являются эмпирическими. Показано расхождение результатов расчетов глубины проникания снаряда по различным формулам и практических результатов стрельб, что объясняется приближенностью самих формул, непрямолинейным движением снаряда в преграде и невозможностью подобрать коэффициент, точно соответствующий среде в месте падения снаряда.

Ключевые слова: ударное действие фугасного снаряда, кинетическая энергия, глубина проникания, преграда, цель, формула Вунча, Березанская формула.

This article discusses various approaches to assessing the impact of high-explosive projectiles. The authors found that the complexity and rapidity of the processes that accompany the impact action create difficulties in determining the laws of penetration of a projectile into a solid obstacle. In this regard, it is concluded that all formulas used to calculate the depth of penetration of a projectile into an obstacle, as well as the time of penetration are to some extent empirical. It shows the discrepancy between the results of calculations of the projectile penetration depth according to various formulas and the practical results of firing, which is explained by the approximation of the formulas themselves, the nonlinear motion of the projectile in the obstacle and the impossibility to select a factor that exactly matches the environment in the place of the projectile fall.

Keywords: impact action of a high-explosive projectile, kinetic energy, penetration depth, obstacle, target, Vuich formula, Berezan formula.

Снаряды фугасного действия (фугасные снаряды) в основном предназначаются для стрельбы по небетонированным оборонительным сооружениям полевого типа — окопам,

блиндажам, огневым точкам (ДЗОТ), наблюдательным пунктам и т.п. Кроме того, фугасные снаряды крупных калибров (свыше 152-мм) могут использоваться одновременно с бетонобой-

ными снарядами для осуществления комбинированной стрельбы по бетонированным сооружениям [1–4].

Действие фугасного снаряда складывается из ударного действия целого снаряда по преграде (цели) и фугасного действия разрывного заряда. Снаряд при встрече с преградой (целью) обладает некоторой кинетической энергией:

$$E_c = \frac{Gv_c}{2g},$$

где G — вес снаряда;

v_c — скорость снаряда при встрече с преградой (целью);

g — ускорение силы тяжести.

При проникании снаряда в преграду эта энергия расходуется на преодоление связи между частицами среды и на преодоление их инерции, или, как принято называть, на совершение статической и динамической работы. Кроме того, кинетическая энергия расходуется и на деформации, происходящие в самом снаряде. Невозможность учета энергии, расходуемой на деформацию снаряда, заставляет сделать допущение, что вся кинетическая энергия снаряда может быть израсходована исключительно на преодоление сопротивления преграды (цели) [2–5].

Это допущение тем ближе к истине, чем слабее преграда, прочнее снаряд и меньше скорость удара снаряда в преграду. Следовательно, можно сделать вывод, что для фугасных снарядов, предназначенных главным образом для стрельбы по сравнительно слабым преградам, такое допущение вполне приемлемо.

Между тем влияние деформации снаряда при некоторых условиях стрельбы может сказаться на глубине его проникания в преграду вследствие потери снарядом своей первоначальной формы. Это может быть проиллюстрирова-

но на примере глубины проникания винтовочной пули, табл. 1.

Анализ данных табл. 1 позволяет сделать вывод о том, что нельзя говорить об абсолютном вреде повышения скоростей снарядов. Это подтверждено опытами Герлиха, которые показали, что при стрельбе обыкновенной пулей со свинцовым сердечником массой 6,5 г и начальной скоростью 1450–1475 м/с по толстой стальной броне такая пуля делает в броне воронку глубиной 15 мм и диаметром 25 мм. Обычная боевая пуля оставляла на этой же броне только царапины. При стрельбе по броневому листу толщиной 12 мм с дистанции 50 метров пуля Герлиха проламывала дыру диаметром 15 мм. Дальнейшие исследования показали, что при скорости пули свыше 1150 м/с в броне получаются не пробойны обычного вида, а проломы. При этом броневая плита в месте удара пули становится хрупкой, как стекло.

В зависимости от характера преграды ударное действие снаряда может выражаться либо в пробивании преграды (стенка или перекрытие блиндажа), либо в проникании в преграду на некоторую глубину. В первом случае ударное действие снаряда будет измеряться толщиной пробиваемой преграды, а во втором — наибольшей величиной углубления снаряда в преграду, рисунок.

Углубление снаряда в преграду можно измерить либо по касательной к траектории X , либо по нормали к преграде h . Первое определяет путь снаряда в преграде, а второе — глубину проникания в преграду. Представленные на рис. 1 характеристики ударного действия имеют важное значение для подбора времени замедления взрывателя, обеспечивающего необходимое для наилучшего фугасного действия углубления снаряда в преграду [5–8].

Сложность и скоротечность процессов, сопровождающих ударное действие снарядов, создают

Таблица 1

Глубина проникания винтовочной пули при различных скоростях встречи с преградой

Начальная скорость пули, м/с	Глубина проникания, мм	
	песок	дерево
300	240	120
600	320	420
750	180	750
870	140	300

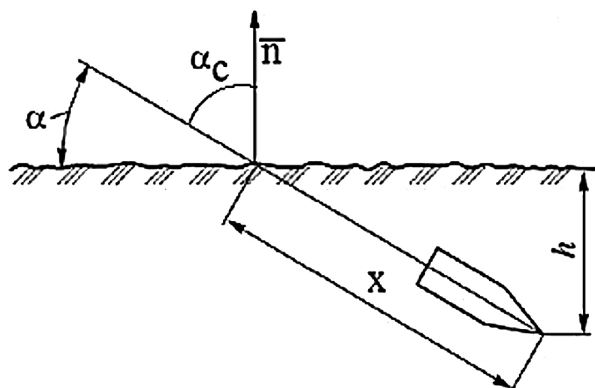


Рис. 1. Углубление снаряда в преграду

исключительные трудности для определения законов проникания снаряда в твердые преграды. В связи с этим все известные на сегодняшний день формулы для подсчета величин X и h , а также времени проникания снаряда в преграду в той или иной степени являются эмпирическими.

Попытки установления закона сопротивления твердых преград на базе общих теоретических предпосылок делались неоднократно. Наибольшей известностью в этой области пользуются работы Вуича, Забудского, Понселе, Майевского, Пароди и др. [1, 6, 7].

При этих исследованиях одинаково допускали, что вся кинетическая энергия снаряда расходуется только на преодоление сопротивления среды, т.е. на статическую E_s и динамическую E_d работы.

Пренебрегая трением снаряда о среду, можно считать, что количество энергии, затрачиваемое снарядом на совершение статической работы, пропорционально сопротивлению среды на поперечном сечении снаряда, т.е.

$$dE_s = a\pi R^2 \lambda ds,$$

а на совершение динамической работы пропорционально квадрату скорости снаряда в преграде:

$$dE_d = b\pi R^2 \lambda v^2 ds,$$

где a, b — коэффициенты, зависящие от свойств среды;

λ — коэффициент формы снаряда;

R — полукалибр снаряда;

v — скорость снаряда в преграде;

ds — элементарное перемещение снаряда.

Тогда сопротивление среды прониканию снаряда может быть выражено следующим уравнением:

$$\rho = \pi R^2 \lambda (a + bv^2).$$

Зная закон сопротивления преграды, можно составить уравнение движения снаряда в преграде:

$$\rho = -\frac{G}{g} \cdot \frac{dv}{dt}, \quad (1)$$

где G — вес снаряда.

Умножая обе части уравнения (1) на ds , получим

$$\pi R^2 \lambda (a + bv^2) ds = -\frac{G}{g} v dv.$$

Проинтегрировав в границах от 0 до X и от v_c до v , получим:

$$X = \frac{G}{2bg\pi R^2 \lambda} \ln \frac{a + bv_c^2}{a + bv^2}. \quad (2)$$

Тогда полный путь снаряда в преграде получим, приравняв текущую скорость снаряда к нулю:

$$X_{\max} = \frac{G}{2bg\pi R^2 \lambda} \ln \left(1 + \frac{b}{a} v_c^2\right). \quad (3)$$

Для определения зависимости t от v обратимся к уравнению (1), которое представим в следующем виде:

$$dt = -\frac{G}{g\pi R^2 \lambda} \cdot \frac{dv}{a + bv^2}. \quad (4)$$

Интегрируя уравнение (4) от 0 до t и от v_c до v , получим:

$$t = \frac{G}{g\pi R^2 \lambda \sqrt{ab}} \left(\operatorname{arctg} v_c \sqrt{\frac{b}{a}} - \operatorname{arctg} v \sqrt{\frac{b}{a}} \right). \quad (5)$$

Полное время проникания снаряда можно получить, приняв $v = 0$:

$$T = \frac{G}{g\pi R^2 \lambda \sqrt{ab}} \operatorname{arctg} v_c \sqrt{\frac{b}{a}}. \quad (6)$$

Известные формулы Майевского, Вуича и Забудского для подсчета пути и времени углубления

снаряда являются лишь результатом преобразования приведенных формул (2)–(6).

Если рассматривать формулу Вуича, то он принял следующие обозначения в формулах (2), (3):

$$P_s = \frac{G}{\pi R^2}, \text{ кг/см}^2, \quad (7)$$

$$\xi_0 = \frac{1}{2gb} \ln \left(1 + \frac{b}{a} v_c^2 \right) \text{ и } \lambda = 1.$$

В обозначениях, принятых Вуич, выражение для полной величины проникания снаряда преграду получает следующий вид:

$$S = \xi_0 P_s. \quad (8)$$

Для проведения вычислений по формуле (8), Вуич предложил значения ξ_0 для трех основных материалов преград (см. табл. 2) и с поправочными коэффициентами m для других материалов, разбитых на три группы (см. табл. 3).

При использовании данных табл. 3 формула (8) принимает следующий вид:

$$S = m \xi_0 P_s. \quad (9)$$

Для определения времени углубления снаряда в преграду Вуич сделал допущение, что

снаряд движется в преграде равнозамедленно, вследствие чего:

$$T = \frac{2X_{\max}}{v_c}.$$

Помимо приведенных полуэмпирических формул, для вычисления полной величины проникания снаряда в преграду и углубления снаряда в преграду могут быть использованы эмпирические формулы.

Наибольшей известностью из эмпирических формул пользуется Березанская формула:

$$L = K_n \frac{G}{D^2} v_c \cos a, \quad (10)$$

где L — углубление снаряда в преграду, м;
 K_n — коэффициент, характеризующий свойства среды;

G — вес снаряда, кг;

D — калибр снаряда, см;

v_c — скорость снаряда при ударе в преграду, м/с;

a — угол от нормали к преграде.

Значения коэффициента K_n для некоторых материалов приведены в табл. 4.

Влияние углов падения снарядов встречи сказывается самым решающим образом на характере ударного действия фугасного снаряда и тем сильнее, чем меньше угол падения

Таблица 2

Значение ξ_0

Скорость снаряда при встрече с преградой, м/с	Грунт из смеси садовой земли, глины и песка поровну	Стенка из тесаного песчаника	Дерево (дуб, бук, ясень) хорошего качества
120	10,43	1,62	4,45
140	11,67	1,97	5,19
...
300	22,32	5,33	13,27
320	23,54	5,73	14,50
340	24,78	6,12	15,73
...
400	28,07	7,31	19,02
420	29,06	7,70	20,01
440	30,21	8,07	21,00
460	31,44	8,41	21,99
480	32,68	8,75	22,97
500	33,90	9,07	23,96

Таблица 3

Значение поправочного коэффициента m

Категория материала	Материалы	m
Грунт	Песок с гравием	0,6
	Плотная садовая земля с песком и гравием	0,8
	Глина с песком и гравием	0,9
	Глина или неплотная земля	1,4
	Свеженасыпанная земля	1,8
Кладка	Песчаник среднего качества или хороший кирпич	1,3
	Кирпич среднего качества	1,8
	Гранит средних качеств	0,7
	Твердый известняк	0,45
	Твердый финляндский гранит	0,35
Дерево	Дуб высшего качества	0,85
	Вяз	1,3
	Береза, ель, сосна	1,8
	Тополь	2,0

Таблица 4

Значения коэффициента K_n

Материал преграды	K_n
Свеженасыпанная земля	0,13–0,15
Глинистый грунт	0,10
Грунт средней плотности	0,11–0,13
Плотный грунт	0,06–0,085
Глина плотная	0,07
Песчаная насыпь	0,09
Песок (слежавшийся)	0,045
Кирпичная кладка	0,02–0,025
Булыжный камень	0,025
Известняк или песчаник	0,02
Слабый бетон	0,012–0,015

снаряда. Как показывает практика, при малых углах падения глубина проникания снарядов в преграду становится близкой к нулю вследствие рикошетирования снаряда.

Пример. Определить глубину проникания 203-мм осколочно-фугасного снаряда ЗОФ43 в глинистый грунт (неплотный), если масса снаряда — 110 кг, скорость снаряда при ударе в преграду — 440 м/с, угол от нормали к преграде — 45 градусов.

По формуле Вуич:

$$S = m\xi_0 P_s = 1,4 \cdot 30,21 \frac{110}{\pi \cdot (10,15)^2} = 14,37 \text{ м.}$$

$$L = S \cos a = 14,37 \cdot 0,7 = 10,16 \text{ м.}$$

По Березанской формуле:

$$L = K_n \frac{G}{D^2} v_c \cos a =$$

$$= 0,12 \cdot \frac{110}{20,3^2} 440 \cdot 0,7 = 9,87, \text{ м.}$$

Расхождение результатов расчетов по различным формулам и практических результатов стрельб может достигать значительной величины, что можно объяснить приближенностью самих формул (8)–(10), прямолинейным движением снаряда в преграде и сложностью подбора коэффициента, точно соответствующего среде (цели) в месте падения снаряда.

Тем не менее приведенный в статье пример расчета глубин проникания снаряда в грунт достаточно полно обобщает накопленный на сегодняшний день экспериментальный (опытный) материал по движению снарядов в твердых преградах и позволяют судить об ожидаемом проникании снарядов в преграды различной прочности [7–11].

Литература

1. Средства поражения и боеприпасы: учебник для студентов, обучающихся по специальности «Средства поражения и боеприпасы» направления подготовки специальности «Оружие и системы вооружения» / А.В. Бабкин и др.; под общ. ред. В.В. Селиванова. — Москва: изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. 983 с.
2. Балаганов И.А., Мержиевский Л.А. Действие средств поражения и боеприпасов: учебник. — Новосибирск: изд-во НГТУ, 2004. 408 с.
3. Оценка эффективности средств поражения и боеприпасов: учебное пособие / А.И. Сидоров, А.А. Ганин, Ю.М. Голубинский и др.; Министерство образования и науки РФ, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пензенский государственный университет» (ПГУ). — Пенза: изд-во ПГУ, 2016. 193 с.
4. Действие средств поражения и боеприпасов: справочное пособие / Е.А. Знаменский; Министерство образования и науки Российской Федерации, Балтийский гос. технический ун-т «Военмех». — Санкт-Петербург: БГТУ, 2010. 94 с.
5. Методы оценки эффективности действия боеприпасов на стадии проектирования: учеб. пособие / А.Г. Белов, Е.Н. Никулин, Ю.П. Савельев, Н.Н. Фалолеев; Балт. гос. техн. ун-т «Военмех». — СПб.: БГТУ, 1996. 138 с.
6. Знаменский Е.А. Фугасное и осколочное действие артиллерийских боеприпасов: учебное пособие; Балт. гос. техн. ун-т. — СПб., 2016. 66 с.
7. Знаменский Е.А. Основы конструкции и расчета артиллерийских боеприпасов: учебное пособие; Балт. гос. техн. ун-т. — СПб., 2016. 57 с.
8. Чубасов В.А. Основы конструкции средств поражения и боеприпасов: тексты лекций. — СПб.: Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д.Ф. Устинова (БГТУ), 2011. 176 с.
9. Охитин В.Н., Меньшаков С.С. Фугасное действие боеприпасов: учебное пособие. — Москва: изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015. 118 с.
10. Клочков А.С., Корольков Н.Н., Музыченко В.Я. и др. Основания устройства и конструкции орудий и боеприпасов наземной артиллерии: учебник; под общ. ред. канд. техн. наук Н.Н. Королькова. — М.: Военное издательство министерства обороны СССР, 1976. 459 с.
11. Чубасов В.А., Буг С.В., Спивак И.А. Современное состояние вопроса оценки поражающего действия боеприпасов // Сборник научных трудов МНПФ «Армия 2019», 2019. — СПб.: МВАА, 2019. С. 45–55.