

УДК: 623.4.018

DOI: 10.53816/23061456\_2021\_11-12\_123

**К ВОПРОСУ ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПАРАМЕТРОВ ОТДАЧИ  
СТРЕЛКОВОГО ОРУЖИЯ**

**TO A QUESTION OF DETERMINING THE PARAMETERS  
OF THE RECOIL OF SMALL ARMS**

*Д-р техн. наук С.В. Медвецкий, д-р техн. наук А.П. Быков*

*D.Sc. S.V. Medvetskiy, D.Sc. A.P. Bykov*

*МГТУ им. Н.Э. Баумана*

Эффективность стрельбы зависит не только от совершенства образца оружия и патронов к нему, но и от отдачи стрелкового оружия, которую воспринимает стрелок. Поэтому исследование торможённой отдачи оружия в системе «стрелок-оружие» представляет практический интерес.

На основании изучения стоп-кадров видеосъёмки отдачи при стрельбе из различных видов стрелкового оружия предложена расчётная модель системы «стрелок-оружие», при стрельбе из положений лежа, сидя и стоя.

С использованием этой модели проведены теоретические исследования торможённой отдачи при стрельбе из указанных положений, позволившие рассчитать изменение скорости, импульса и мощности в процессе торможённой отдачи.

Предложенные решения позволяют уже на этапе предварительной проработки оценивать параметры отдачи и их изменения при различных сочетаниях основных характеристик системы «стрелок-оружие».

**Ключевые слова:** стрелковое оружие, свободная и торможённая отдача стрелкового оружия, система «стрелок-оружие».

The effectiveness of shooting depends not only on the perfection of the weapon and ammunition for it, but also on the recoil of the small arms, which the shooter perceives. Therefore, the study of the retarded recoil of weapons in the «shooter-weapon» system is of practical interest.

Based on the study of recoil video stills when firing from various types of small arms, a computational model of the «shooter-weapon» system is proposed for shooting from prone, sitting and standing positions.

With the use of the proposed model, theoretical studies of inhibited recoil when firing from the indicated positions have been carried out, which made it possible to calculate the change in speed, momentum and power in the process of inhibited recoil.

The proposed solutions make it possible, already at the stage of preliminary study, to evaluate the recoil parameters and their changes for various combinations of the main characteristics of the «shooter-weapon» system.

**Keywords:** weapon, free and slow recoil of small arms, the «shooter-weapon» system.

Решения задач внутренней и внешней баллистики позволяют определить основные параметры выстрела, обеспечивающих выполнение заданных тактико-технических требований (ТТТ) — важные, но не единственные проблемы в разработке и оценке стрелкового оружия. Дело в том, что в отличие от артиллерийского и ракетного вооружения стрелковое оружие применяется непосредственно человеком-стрелком и эффективность стрельбы определяется умением стрелка и комфортностью использования оружия в системе «стрелок-оружие». В этой системе стрелок является ее «активным» элементом, выполняя роль своеобразного лафета, воспринимающего усилие отдачи. Очевидно, что стрелок в силу своих ограниченных физиологических возможностей способен воспринимать отдачу оружия лишь до определенных пределов, сверх которых восприятие отдачи может привести к травмам стрелка.

В большинстве известных работ, посвященных исследованию данного вопроса, в качестве основных характеристик, определяющих степень воздействия оружия на стрелка, рассматривались предельно допустимые значения импульса, энергии и мощности свободной отдачи оружия, т.е. такой отдачи, когда оружие находится в свободном состоянии [1, 8, 10]. Предельно возможные значения этих характеристик в конечном счете накладывают ограничения на массу оружия, которая тем больше, чем выше масса метаемого тела и его скорость. Это положение

подтверждает зависимость массы оружия от импульса свободной отдачи, построенной для различных образцов оружия и приведенной на рис.1.

Значение импульса свободной отдачи вычислялось по формуле [2]:

$$J_{\text{co}} = M_{\text{op}} V_{\text{co}} = m V_{\text{д}} \cdot \left( 1 + \alpha \beta \cdot \frac{\omega}{m} \right), \quad (1)$$

где  $m$  — масса пули;  $M_{\text{op}}$  — масса оружия;  $V_{\text{co}}$  — скорость свободной отдачи оружия;  $\alpha$  — конструктивно-импульсная характеристика дульного устройства (для дульного тормоза  $\alpha < 1$ , для дульного ускорителя  $\alpha > 1$ , при отсутствии дульного устройства  $\alpha = 1$ );  $\beta$  — коэффициент полного действия инерции порохового газа на ствол

$$\beta = \frac{2}{k} \cdot \frac{a_{\text{кр.д}}}{V_{\text{д}}} = \frac{2}{V_{\text{д}}} \cdot \sqrt{\frac{2f}{k(k+1)} \cdot \left( 1 - \frac{k-1}{2} \cdot \frac{\phi m V_{\text{д}}^2}{f \omega} \right)},$$

$a_{\text{кр.д}}$  — критическая скорость потока в момент вылета пули

$$a_{\text{кр.д}} = \sqrt{\frac{2k}{k+1} \cdot f(1-r_{\text{д}})},$$

$r_{\text{д}} = \frac{k-1}{2} \cdot \frac{\phi m V_{\text{д}}^2}{f \omega}$  — термический коэффициент полезного действия процесса выстрела;  $\omega$  — масса метательного заряда.

Анализируя приведенную зависимость, можно сделать вывод, что создание различных

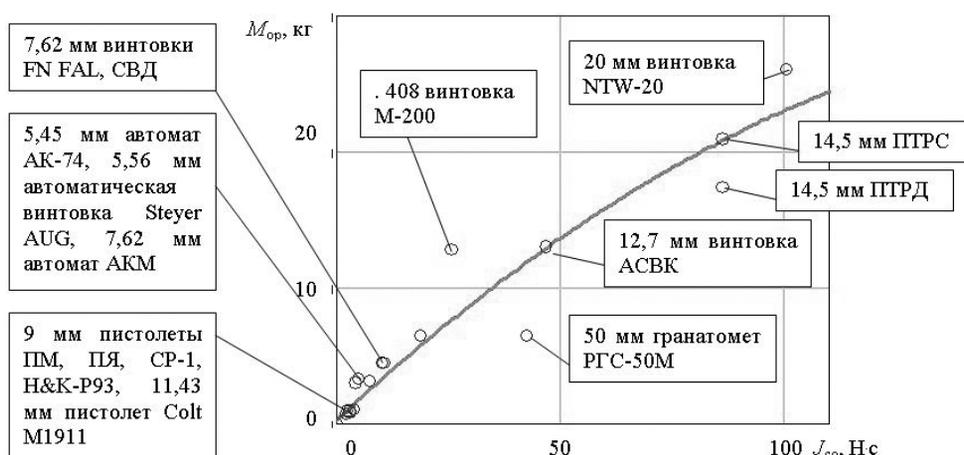


Рис. 1. Зависимость массы оружия от импульса свободной отдачи:

○ — точки, соответствующие реальным образцам оружия; — аппроксимирующая кривая

образцов оружия подчиняется четкой закономерности: масса образца должна соответствовать импульсу свободной отдачи оружия по представленной зависимости. При этом точки, расположенные выше кривой, соответствуют образцам оружия при стрельбе из которых отдача воспринимается стрелком легче, а точки, расположенные под кривой, соответствуют образцам оружия при стрельбе из которых отдача воспринимается тяжелее. В качестве примера можно привести стрельбу из гранатомета РГС-50 без тормоза отката и противотанкового ружья ПТРД, отдача которых, по отзывам стрелков, воспринимается как предельно возможная [3].

Вместе с тем, оценка возможности применения оружия стрелком только по параметрам свободной отдачи не учитывает особенности поведения стрелка в системе «стрелок-оружие», заключающиеся в восприятии и диссипации стрелком энергии отдачи оружия после выстрела за определенный период времени.

В работе [4] перемещение оружия при выстреле в системе «стрелок-оружие» было предложено рассматривать в два периода (рис. 2), соответствующим перемещению оружия до момента вылета пули из канала ствола (1 период) и после вылета пули из канала ствола (2 период — собственно торможенная отдача):

$$x = x_1 + x_2.$$

Здесь:  $x_1, x_2$  — перемещение оружия в первом и втором периодах отдачи, соответственно ( $x_{1\max}, x_{2\max}$  — максимальные значения перемещения в первом и втором периодах).

Оценим максимальную величину перемещения оружия в процессе выстрела  $x_{1\max}$ . Поскольку

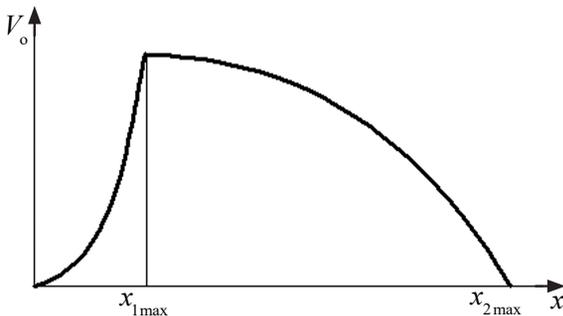


Рис. 2. Перемещение оружия в процессе торможенной отдачи:  $0 - x_{1\max}$  — период отдачи при выстреле;  $x_{1\max} - x_{2\max}$  — период отдачи после выстрела (собственно торможенная отдача)

ку перемещение оружия в процессе выстрела происходит под действием силы  $R$ , существенно превосходящей силу сопротивления отдачи со стороны стрелка (так, например, для винтовки СВД значение этой силы составляет

$$R = p_{cp} \frac{\pi d^2}{4} \approx 5300 \text{ Н},$$

здесь  $p_{cp}$  — среднее давление пороховых газов в стволе,  $p_{cp} \sim 113$  МПа, а максимальная сила сопротивления отдачи со стороны стрелка  $\sim 200$  Н [5]), то расчет перемещения оружия в 1 периоде можно рассчитывать без учета последней силы. С учетом изложенного перемещение оружия в первом периоде отдачи можно рассматривать как свободную отдачу.

Тогда:

$$l_{co} = \frac{V_{co}}{2} \cdot t. \quad (2)$$

Полагая в первом приближении, что движение пули в стволе происходит в постоянным ускорением  $a$ , определим время выстрела  $t$ :

$$V_d = at; V_d = \sqrt{2al_d}; t = \frac{2l_d}{V_d}.$$

Здесь:  $V_d$  — дульная скорость пули;  $l_d$  — длина ствола;  $t$  — время выстрела;  $a$  — среднее ускорение пули при выстреле. Скорость отдачи  $V_0$  определим из выражения (1).

Подставляя указанные выражения в формулу (2), окончательно получим:

$$l_{co} = x_{1\max} = \frac{V_{co}}{2} \cdot t = \frac{ml_d}{M_{op}} \cdot \left( 1 + \alpha \beta \cdot \frac{\omega}{m} \right) = \frac{ml_d}{M_{op}} \cdot \left[ 1 + \alpha \cdot \frac{2}{V_d} \cdot \frac{\omega}{m} \cdot \sqrt{\frac{2f}{k(k+1)}} \cdot \left( 1 - \frac{k-1}{2} \cdot \frac{\phi m V_d^2}{f\omega} \right) \right].$$

Результаты расчетов скорости, импульса, энергии и перемещения при свободной отдаче для различных видов оружия приведены в табл. 1.

По данным, приведенным в табл. 1, построена зависимость массы оружия от импульса свободной отдачи, представленная на рис. 1.

Из данных табл. 1 также следует, что максимальное перемещение оружия к концу выстрела  $x_{1\max}$  незначительно.

Величины скорости, импульса, энергии и перемещения в периоде свободной отдачи для различных видов оружия

Наименование образца оружия (страна-разработчик)	Тип патрона/выстрела	Масса пули/гранаты $m_n$ , г	Масса метательного заряда $\omega$ , г	Масса оружия $M_{op}$ , кг	Дульная скорость $V_d$ , м/с	Скорость свободной отдачи оружия $V_{co}$ , м/с	Импульс свободной отдачи, $J_{co}$ , Н·с	Энергия свободной отдачи, Дж	Перемещение оружия в период свободной отдачи $x_{1max}$ , мм
ПМ (Россия)	9×18	5,90	0,25	0,73	305	2,47	1,8	2,2	0,61
ПЯ (Россия)	9×19 7Н21	5,4	0,45	0,95	408	2,32	2,2	2,6	0,53
СР-1 (Россия)	9×21 СП-10	6,7	0,51	0,95	420	2,96	2,8	4,2	0,70
Н&К Р93 (Германия)	9×19 Para	8,0	0,48	0,88	350	3,18	2,8	4,4	0,85
Colt M19A1 (США)	.45 АСР	15,2	0,37	1,08	252	3,55	3,8	6,8	0,14
АК-74 (Россия)	5,45×39	3,40	1,46	3,07	900	1,35	4,1	2,8	0,56
АКМ (Россия)	7,62×39 обр. 1943 г.	7,90	1,8	3,10	730	2,28	7,1	8,1	1,17
Stoer AUG (Австрия)	5,56×45	3,42	1,7	3,3	960	1,38	4,6	1,7	0,67
FN FAL (Бельгия)	7,62×51 NATO	9,68	3,1	4,5	840	2,31	10,4	12,0	1,32
СВД (Россия)	7,62×53R 7Н1	9,60	3,1	4,5	830	2,27	10,2	11,6	1,50
Orsis T-5000 (Россия)	8,6×70 (.338 Lapua)	16,2	5,7	6,5	905	2,88	18,7	27,0	2,00
М-200 (США)	10,3×77	19,8	10,3	12,8	900	2,00	25,6	25,6	1,46
АСВК (Россия)	12,7×108	48,2	12,5	13,0	777,5	3,58	46,5	83,3	4,10
ПТРД (Россия)	14,5×114	63,7	30,0	17,4	990,0	4,95	86,1	213,2	6,18
ПТРС (Россия)	14,5×114	63,7	30,0	20,9	990,0	4,12	86,1	177,4	5,71
Aerotek NTW-20 (ЮАР)	20×82	110,0	28,5	26,0	720,0	3,86	100,3	193,7	4,90
РГС-50М (Россия)	50×284 серии ГС-50	400	8,0	6,2	92,0	6,50	42,3	137,3	23,00

Рассмотренное описание периодов восприятия отдачи оружия наглядно подтверждается кадрами скоростной видеосъемки стрельбы из гранатомета РГС-50, на которых хорошо видно, что перемещение оружия во время выстрела,

~ в 13 раз меньше перемещения оружия после выстрела в периоде торможеной отдачи (рис. 3).

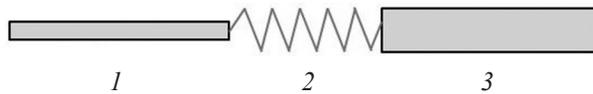
Исследуем модель взаимодействия оружия и стрелка в процессе торможеной отдачи при стрельбе из положений лежа и стоя (или сидя).



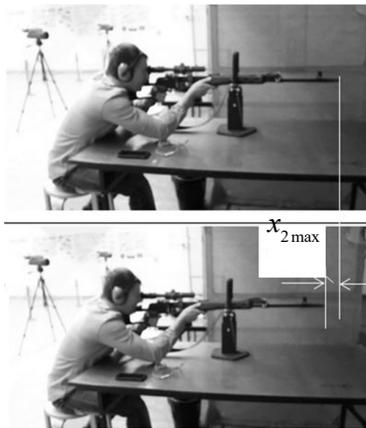
Рис. 3. Восприятие стрелком отдачи при стрельбе из гранатомета: а —  $t = 0$  с,  $x_1 = 0$  м;  
 б —  $t = 0,008$  с,  $x_1 = x_{1\max} = 0,02$  м; в —  $t = 0,1$  с,  $x_2 = x_{2\max} = 0,26$  м;



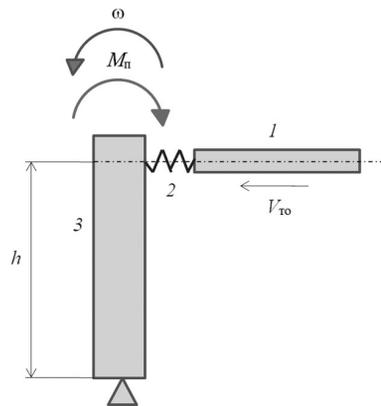
а



б



в



г

Рис. 4. Откат оружия при стрельбе и расчетные модели взаимодействия оружия и стрелка в процессе торможенной отдачи: а — при стрельбе из положения лежа из 14,5-мм противотанкового ружья ПТРД; б — расчетная модель взаимодействия оружия и стрелка при стрельбе из положения лежа: 1 — оружие; 2 — упругий амортизирующий элемент; 3 — корпус стрелка; в — при стрельбе из положения сидя из 7,62-мм винтовки СВД; г — расчетная модель взаимодействия оружия и стрелка при стрельбе из положения сидя: 1 — оружие; 2 — упругий амортизирующий элемент; 3 — корпус стрелка;  $h$  — расстояние от оси приложения оружия до оси поворота торса корпуса стрелка;  $x_2$  — максимальное перемещение оружия в процессе торможенной отдачи

На основании изучения стоп-кадров видеосъемки выстрелов из различных видов стрелкового оружия (рис. 4, а, б) будем полагать, что модель системы «стрелок-оружие»:

– при стрельбе из положения лежа представляет собой трехэлементную структуру: оружие, упругий амортизирующий элемент, имитирующий механизм восприятия отдачи костно-мышечными тканями стрелка и неподвижное массивное тело, имитирующие собственно стрелка (рис. 4, б);

– при стрельбе из положения стоя или сидя представляет собой трехэлементную структуру: оружие, упругий амортизирующий элемент, имитирующий механизм восприятия отдачи костно-мышечными тканями стрелка и физический маятник, в виде параллелепипеда, имитирующего стрелка (при стрельбе стоя) или торс стрелка (при стрельбе сидя). Физический маятник имеет возможность поворачиваться на шарнире, расположенным в нижней части параллелепипеда под действием усилия отдачи и момента сопротивления со стороны стрелка (рис. 4, з).

Для описания процесса торможенной отдачи при стрельбе из положения лежа запишем уравнения движения оружия, на которое действует сила противодействия со стороны стрелка:

$$\frac{d^2x_{\text{то}}}{dt^2} = -P_{\text{н}} - \frac{c \cdot x}{M_{\text{оп}}},$$

$$\frac{dx}{dt} = V_{\text{то}}.$$

Здесь:  $c$  — жесткость упругого амортизирующего элемента стрелка;  $V_{\text{то}}$ ,  $x$  — соответственно, скорость и перемещение оружия в процессе торможенной отдачи;  $P_{\text{н}}$  — усилие предварительного поджатия приклада оружия к плечу стрелка.

Первое из перечисленных уравнений представляет собой дифференциальное уравнение 2 порядка, которое имеет аналитическое решение в виде зависимостей от времени перемещения и скорости перемещения оружия в процессе торможенной отдачи [6]:

$$x = \frac{P_{\text{н}}}{c} \cdot \left( \cos \left( \sqrt{\frac{c}{M_{\text{оп}}}} \cdot t \right) - 1 \right) + \frac{V_{\text{то}}}{\sqrt{\frac{c}{M_{\text{оп}}}}} \cdot \sin \left( \sqrt{\frac{c}{M_{\text{оп}}}} \cdot t \right) \quad (3)$$

и

$$V_{\text{то}} = \frac{dx}{dt} = V_{\text{co}} \cdot \cos \left( \sqrt{\frac{c}{M_{\text{оп}}}} \cdot t \right) - \frac{P_{\text{н}}}{c} \times$$

$$\times \sin \left( \sqrt{\frac{c}{M_{\text{оп}}}} \cdot t \right) \cdot \sqrt{\frac{c}{M_{\text{оп}}}}. \quad (4)$$

С учетом полученных выражений запишем зависимости от времени для импульса и кинетической энергии оружия в процессе торможенной отдачи:

$$J_{\text{то}} = M_{\text{о}} \cdot \left[ \begin{array}{l} V_{\text{co}} \cdot \cos \left( \sqrt{\frac{c}{M_{\text{оп}}}} \cdot t \right) - \frac{P_{\text{н}}}{c} \times \\ \times \sin \left( \sqrt{\frac{c}{M_{\text{оп}}}} \cdot t \right) \cdot \sqrt{\frac{c}{M_{\text{оп}}}} \end{array} \right], \quad (5)$$

$$E_{\text{то}} = \frac{M_{\text{оп}}}{2} \cdot \left[ \begin{array}{l} V_{\text{co}} \cdot \cos \left( \sqrt{\frac{c}{M_{\text{оп}}}} \cdot t \right) - \frac{P_{\text{н}}}{c} \times \\ \times \sin \left( \sqrt{\frac{c}{M_{\text{оп}}}} \cdot t \right) \cdot \sqrt{\frac{c}{M_{\text{оп}}}} \end{array} \right]^2. \quad (6)$$

Дифференцируя выражение (6) по времени получим зависимость мощности торможенной отдачи от времени:

$$N_{\text{то}} = M_{\text{оп}} \cdot \left[ \begin{array}{l} V_{\text{co}} \cdot \cos \left( \sqrt{\frac{c}{M_{\text{оп}}}} \cdot t \right) - \frac{P_{\text{н}}}{c} \times \\ \times \sin \left( \sqrt{\frac{c}{M_{\text{оп}}}} \cdot t \right) \cdot \sqrt{\frac{c}{M_{\text{оп}}}} \end{array} \right] \times$$

$$\times \left[ \begin{array}{l} \frac{P_{\text{н}}}{M_{\text{оп}}} \cdot \cos \left( \sqrt{\frac{c}{M_{\text{оп}}}} \cdot t \right) + V_{\text{co}} \times \\ \times \sin \left( \sqrt{\frac{c}{M_{\text{оп}}}} \cdot t \right) \cdot \sqrt{\frac{c}{M_{\text{оп}}}} \end{array} \right]. \quad (7)$$

Среднее за процесс торможенной отдачи значение мощности определяется отношением максимальной энергии торможенной отдачи, имеющей место при  $t=0$  к продолжительности торможенной отдачи  $t_{\text{то}}$ . Поскольку процесс торможенной отдачи заканчивается при  $V_{\text{то}}=0$ ,

то продолжительность торможенной отдачи  $t_{\text{то}}$  найдем из уравнения (4), приравняв его к нулю:

$$t_{\text{то}} = \arctg \left[ \frac{V_{\text{со}} \cdot c}{\sqrt{\frac{c}{M_{\text{оп}}} \cdot P_{\text{п}}}} \right] \cdot \frac{1}{\sqrt{\frac{c}{M_{\text{оп}}}}}$$

Жесткость амортизирующего элемента стрелка  $c$  найдем из закона сохранения энергии, в соответствии с которым кинетическая энергия свободной отдачи оружия  $E_{\text{со}} = \frac{M_{\text{оп}} V_{\text{со}}^2}{2}$  преобразуется в потенциальную энергию сжатого амортизирующего элемента  $\Pi_{\text{аз}} = P_{\text{п}} x_{2\text{max}} + \frac{c x_{2\text{max}}^2}{2}$ .

$$c = \frac{M_{\text{оп}} V_{\text{со}}^2}{x_{2\text{max}}^2} \cdot t - \frac{P_{\text{п}}}{x_{\text{max}}} \quad (8)$$

Здесь:  $\Pi_{\text{аз}}$  — потенциальная энергия сжатого амортизирующего элемента;  $x_{2\text{max}}$  — максимальная величина сжатия амортизирующего элемента, равная максимальному перемещению оружия в периоде торможенной отдачи;  $P_{\text{п}}$  — усилие предварительного поджатия приклада к плечу, принимаемое равным 100 Н [5, 7].

Для определения  $x_{2\text{max}}$  исследуем видеозаписи стрельбы из положения лежа из винтовок различных калибров и мощности: 14,5-мм противотанкового ружья ПТРД, 12,7-мм винтовки АСВК, винтовки М-200 под патрон .408 Chey Tас (США), винтовки Orsis T-5000 под патрон .338 LM, и 7,62-мм винтовки СВД. Всего исследовались видеозаписи 5 выстрелов из каждого образца. Подставляя полученные результаты в формулу (8) определим жесткость упругого амортизирующего элемента стрелка  $c$ . Результаты приведены в табл. 2.

В дальнейшем для исследования процесса торможенной отдачи из положения лежа

жесткость упругого элемента примем средним значением  $c = 42332$  Н/м.

Для оценки расхождений между теоретическим расчетом с использованием средней жесткости упругого элемента и экспериментальными данными проведем расчет торможенной отдачи при стрельбе из положения лежа из перечисленных видов оружия по зависимостям (3–7). Результаты расчета приведены в табл. 3 и на рис. 5.

Из таблицы следует, что при расчетах правомерно использовать среднее значение жесткости упругого элемента, поскольку средняя ошибка между теоретическими и экспериментальными результатами не превышает 8 %. Максимальное значение средней мощности торможенной отдачи, воспринимаемое человеком составляет 6,87 кВт и соответствует выстрелу из противотанкового ружья ПТРД.

Рассматривая торможенную отдачу при стрельбе стоя или сидя (рис. 4, з) отметим, что в этом случае отдача воспринимается стрелком не только за счет упругого сопротивления костно-мышечной системы стрелка (как при стрельбе из положения лежа), но и за счет поворота корпуса стрелка (при стрельбе стоя) или поворота торса корпуса стрелка (при стрельбе сидя).

В соответствии с этим система уравнений, описывающая взаимодействие элементов в системе «стрелок-оружие» при стрельбе стоя или сидя имеет вид:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dV_{\text{то}}}{dt} &= \begin{cases} -\frac{1}{M_{\text{оп}}} (c(x - \phi h) - P_{\text{п}}) & \text{при } V_{\text{то}} > 0 \\ 0 & \text{при } V_{\text{то}} \leq 0 \end{cases} \\ \frac{dx_{\text{то}}}{dt} &= V_{\text{то}} \\ \frac{d\omega}{dt} &= \frac{c \cdot (l_{\text{то}} - \phi h) + P_{\text{п}}}{J_{\text{стр}}} \\ \frac{d\phi}{dt} &= \omega. \end{aligned} \right. \quad (9)$$

Таблица 2

Значения жесткости упругого амортизирующего элемента стрелка при стрельбе из положения лежа

Тип оружия	СВД	T-5000	M-200	АСВК	ПТРД
Максимальное перемещение оружия при торможенной отдаче $x_{2\text{max}}$ , м	0,026	0,035	0,03	0,062	0,093
Жесткость упругого элемента $c$ , Н/м	30010	37580	53560	42200	48220

Результаты расчета параметров торможенной при стрельбе из положения лежа

Тип оружия	СВД	T-5000	M-200	АСВК	ПТРД
Масса оружия, кг	4,5	6,5	12,8	13,0	17,4
Скорость свободной отдачи оружия $V_{co}$ , м/с	2,27	2,88	2,0	3,8	4,95
Время торможенной отдачи, с	0,015	0,026	0,019	0,027	0,031
Средняя мощность торможенной отдачи, кВт	0,77	0,98	1,42	3,09	6,87
Средний импульс торможенной отдачи, Н·с	6,3	11,6	15,9	29,2	55,0
Максимальное расчетное/экспериментальное перемещение оружия при торможенной отдаче $x_{max}$ , м	0,021/0,026	0,033/0,035	0,033/0,030	0,06/0,062	0,098/0,093
Относительное расхождение между расчетными и экспериментальными значениями максимального перемещения оружия при торможенной отдаче, %	19	6	9	3	5

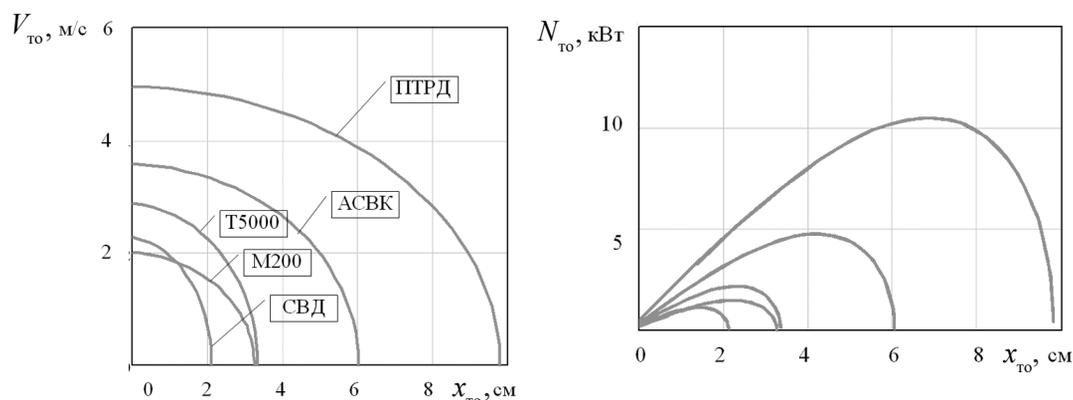


Рис. 5. Зависимости скорости и мощности отдачи от перемещения оружия в периоде торможенной отдачи при стрельбе из положения лежа

Здесь:  $\omega$ ,  $\phi$  — соответственно, угловая скорость и угол поворота корпуса или торса стрелка;  $J_{стр}$  — момент инерции корпуса стрелка (при стрельбе стоя) или торса стрелка (при стрельбе сидя), относительно оси вращения.

Анализ стоп-кадров видеозаписи при стрельбе из положения сидя позволяет определить максимальное перемещение оружия в процессе торможенной отдачи, на основании чего при решении системы уравнений (9) можно рассчитать жесткость упругого амортизирующего элемента  $c$ , значение которой оказалось на 40 % ниже, чем при стрельбе из положения лежа (29600 Н/м

против 42310 Н/м). Это объясняется описанной моделью взаимодействия оружия со стрелком, в которой отдача воспринимается не только костно-мышечной системой стрелка, но и поворотом корпуса или торса. Поэтому при стрельбе из положений стоя или сидя перемещение оружия в процессе торможенной отдачи больше, чем при стрельбе из положения лежа (рис 6, а).

Вместе с тем, анализируя поведение стрелка в предложенной модели можно отметить, что поворот торса стрелка в процессе торможенной отдачи незначителен и не превышает 0,5 град (рис. 6, б). Это позволяет при расчетах тормо-

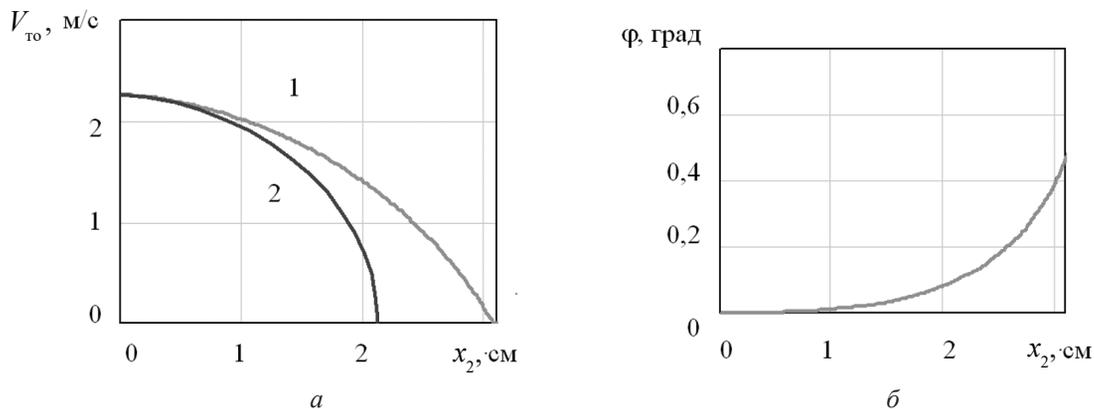


Рис. 6. Зависимости: а — скорости отдачи от перемещения оружия в периоде торможенной отдачи при стрельбе из винтовки СВД из положений сидя (1) и лежа (2); б — угла поворота торса стрелка при стрельбе из винтовки СВД из положения сидя

женной отдачи использовать единую модель системы «стрелок-оружия» при стрельбе из положений лежа, сидя и стоя, представляющую собой трехэлементную структуру: оружие, упругий амортизирующий элемент, имитирующий механизм восприятия отдачи костно-мышечными тканями стрелка и неподвижное массивное тело, имитирующие собственно стрелка. При этом жесткость упругого элемента будет различной в зависимости от положения стрельбы: при стрельбе лежа она будет выше, чем при стрельбе сидя или стоя [8–11].

Предложенные решения позволяют уже на этапе предварительной проработки оценивать параметры отдачи и их изменения при различных сочетаниях основных характеристик системы «стрелок-оружие».

### Выводы

1. Рассмотрены свободная, (т.е. когда оружие находится в свободном состоянии и на него не действуют какие либо внешние силы) и торможённая отдача стрелкового оружия, заключающиеся в восприятии и диссипации стрелком энергии отдачи оружия после выстрела.

2. На основе анализа созданных образцов стрелкового оружия различных классов рассчитана зависимость массы оружия от импульса свободной отдачи, показывающая увеличение массы оружия при увеличении импульса свободной отдачи.

3. Рассмотрена торможённая отдача оружия в системе «стрелок-оружие» и показано, что пе-

ремещение оружие после выстрела существенно больше, чем перемещение оружия в период выстрела и превышает последнее более чем на порядок.

4. На основании изучения стоп-кадров видеосъемки выстрелов из различных видов стрелкового оружия предложена расчетная модель системы «стрелок-оружие», представляющую собой трехэлементную структуру: оружие, упругий амортизирующий элемент, имитирующий механизм восприятия отдачи костно-мышечными тканями стрелка и неподвижное массивное тело, имитирующие собственно стрелка.

5. С использованием предложенной модели проведены теоретические исследования торможённой отдачи при стрельбе из положений лежа, сидя и стоя, позволившие определить жесткость упругого элемента и рассчитать изменение скорости, импульса и мощности в процессе торможённой отдачи.

### Литература

1. ГОСТ 28653-2018 Оружие стрелковое. Термины и определения. — Москва: Стандартинформ. 2019. 41 с.
2. Баллистика ракетного и ствольного оружия: учебник для вузов / под ред. А.А. Королева, В.А. Комочкова. — Волгоград. 2010. 472 с.
3. Глазами фронтовиков: Противотанковые ружья. Электронный ресурс URL: <https://kalashnikov.media/article/weapons/glazami-frontovikov-protivotankovye-ruzhya> (дата обращения 13 июля 2021 года).

4. Пшеничников В.В., Сахнов А.А., Гонtarev А.Н. Определение силового и энергетического воздействия на стрелка при выстреле // Оборонная техника. 1980. № 4. С. 29–31.

5. Лебединиц А.Н., Черный В.Г. К выбору оптимальной массы образца стрелкового оружия // Оборонная техника. 2013. № 9–10. С. 10–13.

6. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. — М.: Изд-во «Лань». 2021. 608 с.

7. Фокин К.С., Кизюн Н.Н., Фролов И.В., Иванов Р.А. Эксплуатация стрелкового оружия: учеб. пособие / под общ. ред. И.В. Фролова; М-во образования и науки РФ, Урал. федер. ун-т. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та. 2018. 88 с.

8. Быков Р.В., Гейстер С.Р. Результаты экспериментальных исследований дульной волны выстрела из стрелкового оружия при однопозиционном приеме. — Минск: Доклады Белорусского Государственного Университета Информатики и Радиоэлектроники. № 8 (70). 2012. С. 100–105.

9. Горовой С.А. Физические основы функционирования стрелково-пушечного, артиллерийского и ракетного оружия (баллистика). Учебное пособие. — Новосибирск: Издательство Сибирской государственной геодезической академии. 2007. 140 с. ISBN 978-5-87693-224-2.

10. Тарасова Л.В. Факторы устойчивости системы «Стрелок оружие» в тренировке высококвалифицированных стрелков. Вестник спортивной науки. № 3. 2009. С. 25–27.

11. Быков Р.В., Гейстер С.Р. Пространственная структура баллистической волны при линейной аппроксимации траектории пули. — Минск: Доклады Белорусского Государственного Университета Информатики и Радиоэлектроники. № 4 (66). 2012. С. 49–55.

## References

1. GOST 28653-2018 Interstate Standard. Small arms. Terms and definitions. — Moscow: Publishing house «Standartinform». 2019. 41 p.

2. Korolev A.A., Komochkov V.A. Ballistics of missile and barrel weapons. Textbook for university students. — Volgograd. Publishing house of Volgograd State Technical University. 2010. 472 p.

3. Through the eyes of front-line soldiers. Anti-tank rifles URL: <https://kalashnikov.media/article/weapons/glazami-frontovikov-protivotankovyevuzhlya>. (Date of the adress 13.07.2021).

4. Pshenichnikov V. V., Sakhnov A. A., Gontarev A.N. Determination of the force and energy impact on the shooter when firing. In: Defense equipment. 1980. № 4. P. 29–31.

5. Lebedinets A.N., Cherny V.G. On the choice of the optimal mass of a small arms sample. In: Defense equipment. 2013. № 9–10. P. 10–13.

6. Bronstein I.N., Semendyaev K.A. Handbook of mathematics for engineers and students of technical universities. — Moscow: Publishing house «Lan». 2021. 608 p.

7. Fokin K.S., Kizyun N.N., I.V., Ivanov R.A. Operation of small arms: textbook. allowance / under total. ed. I.V. Frolov. Ministry of Education and Science RF, Ural. Feder. un-t. — Yekaterinburg: Ural Publishing House. University. 2018. 88 p.

8. Bykov R.V., Geister S.R. The results of experimental studies of the muzzle wave of a shot from small arms with a single-position reception. — Minsk: Reports of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics. № 8 (70). 2012. P. 100–105.

9. Gorovoy S.A. Physical foundations of the functioning of small arms, artillery and missile weapons (ballistics). Tutorial. — Novosibirsk: Publishing house of the Siberian State Geodetic Academy. 2007. 140 p. ISBN 978-5-87693-224-2.

10. Tarasova L.V. Stability Factors of the «Arrow Weapon» System in the Training of Highly Qualified Shooters. Sports Science Bulletin. 2009. № 3. P. 25–27.

11. Bykov R.V., Geister S.R. Spatial structure of a ballistic wave with linear approximation of the trajectory of a bullet. — Minsk: Reports of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics. № 4 (66). 2012. P. 49–55.