

УДК 623.4

doi: 10.53816/23061456_2025_9–10_104

**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЙСТВИЯ
КИНЕТИЧЕСКИХ ПОРАЖАЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПО ЖИВОЙ СИЛЕ
В СРЕДСТВАХ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ БРОНЕЗАЩИТЫ**

**STUDY OF METHODS FOR ASSESSING THE EFFECTIVENESS
OF KINETIC DAMAGING ELEMENTS ON MAN
IN MEANS OF INDIVIDUAL ARMOR PROTECTION**

*Канд. техн. наук И.В. Гук¹, канд. техн. наук А.И. Спивак¹, канд. техн. наук А.В. Тормозов²,
канд. техн. наук И.А. Спивак³, С.Н. Васильева¹*

Ph.D. I.V. Guk, Ph.D. A.I. Spivak, Ph.D. A.V. Tormozov, Ph.D. I.A. Spivak, S.N. Vasileva

¹ НПО Спецматериалов, ² Войсковая часть 38994,

³ НИЦ(РВиА) Михайловская военная артиллерийская академия

В статье проведен анализ особенностей применения критериев поражающего действия и небиологических моделей для оценки эффективности действия поражающих элементов по открытой живой силе и по живой силе в средствах индивидуальной бронезащиты. Обоснована необходимость замены сосновых досок толщиной 25,4 мм, применяемых в качестве небиологической модели открытой живой силы, на фанерные щиты толщиной 10 мм, особенно при исследовании ранящего действия кинетических поражающих элементов по живой силе в средствах индивидуальной бронезащиты. Получены статистические модели, позволяющие совместно использовать результаты оценки поражающего действия кинетических поражающих элементов с использованием небиологических моделей, в качестве которых применяются сосновые доски толщиной 25,4 мм, так и фанерные щиты толщиной 10 мм.

Ключевые слова: кинетический поражающий элемент, эффективность, живая сила, средства индивидуальной бронезащиты, имитаторы.

The article analyzes the features of using criteria of damaging action and non-biological models to assess the effectiveness of damaging elements against open manpower and manpower in personal armor. The need to replace 25,4 mm thick pine boards used as a non-biological model of open manpower with 10 mm thick plywood boards is substantiated, especially when studying the wounding effect of kinetic damaging elements against manpower in personal armor. Statistical models are obtained that allow the joint use of the results of assessing the damaging effect of kinetic damaging elements using non-biological models, which include 25,4 mm thick pine boards and 10 mm thick plywood boards.

Keywords: kinetic striking element, efficiency, manpower, personal armor protection means, imitators.

Введение

Недостаточный для современных условий уровень поражающего действия осколочно-

фугасных снарядов, показывает необходимость проведения исследований, направленных на повышение эффективности их применения. Одним из путей повышения эффективности осколочно-

го действия снарядов [1] является обеспечение оптимального осколочного спектра многоцелевого назначения в процессе взрывного разрушения корпуса. Анализ решения этой задачи выявляет наиболее целесообразные направления, такие как [2], изменение схемы нагружения корпуса, поиск новых конструктивных схем осколочно-фугасных снарядов, улучшение характеристик осколочного поля поражения за счет изменения химического состава сталей и их механических свойств, проведение исследований закономерностей процессов формирования осколочного и фугасного полей поражения [3].

На этапах проектирования немаловажным является проведение экспериментальных исследований для обоснования приведенных площадей поражения осколочным потоком снарядов не только небронированной или легкобронированной техники, но и незащищенной живой силы (ЖС). Для проведения исследований по оценке могущества действия осколочных снарядов по живой силе возможно проводить эксперименты с биологическими объектами, небиологическими моделями, а также использовать критерии повреждающего действия (КПД), основанные на глубине проникания в мягкие ткани или кинетической энергии ранящего снаряда.

В качестве биологических материалов можно использовать животных, трупы людей, которые из-за этического фактора, сложности подбора материала, необходимости привлечения к экспериментам медицинского персонала и высокой стоимости проведения экспериментов не являются рациональными и определяющими при проведении испытаний [4].

Использование имитаторов человека для проведения испытаний по определению могущества осколочного действия является необходимым для инженерной деятельности. Отсутствие необходимости проведения медико-биологической оценки биологических объектов значительно упрощает процессы конструирования и модернизации вооружения, за счет четких показателей поражаемости имитаторов.

В качестве небиологических имитаторов используют неметаллические эквивалентные преграды, в том числе сухую сосновую доску толщиной 1 дюйм (25,4 мм), стандартную пластилиновую модель НАТО толщиной 180 мм и т.п. [5].

Для объективной оценки повреждений живого организма исследователи и конструкторы боеприпасов и средств индивидуальной бронезащиты опираются на представления об энергетических уровнях поражающих элементов (ПЭ), вызывающих травмы той или иной степени тяжести. Представления о критериях повреждающего или убийного действия ПЭ являются основополагающими позициями раневой баллистики [6, 7].

Критерии повреждающего действия

Под КПД в раневой баллистике понимается значение параметра ранящего ПЭ, при котором в условиях его взаимодействия с живой целью достигается заданный эффект поражения. Значения параметров поражающего фактора, приводящие к поражениям ЖС не ниже заданного уровня, в совокупности составляют параметрический закон поражения (ПЗП). В артиллерии ПЗП определяется как вероятность вывода из строя ЖС противника [8].

На протяжении многих лет в раневой баллистике под значимым параметром поражающего фактора понималась его кинетическая энергия. В 1894 году Н. Rohne впервые представил КПД, согласно которому пуля или осколок, обладающие в момент ранения кинетической энергией, равной 80 Дж, в состоянии нанести травму по тяжести, достаточную для вывода противника из строя [9].

В ряде работ для оценки эффективности осколочно-фугасных боеприпасов по ЖС используется обобщающий критерий в виде критической удельной кинетической энергии $E_{уд}^{кр}$ [9]. При массе m ПЭ более 1,10 г $E_{уд}^{кр}=100$ Дж/см², при массе ПЭ в диапазоне от 0,25 г до 1,10 г $E_{уд}^{кр}=110 \cdot m^{0,91}$, Дж/см². При ранении ПЭ, обладающим необходимым уровнем критической удельной кинетической энергией $E_{уд}^{кр}$, обеспечивается заданный уровень повреждения ЖС — осколочное ранение легкой степени с выводом ЖС из строя на срок не менее 7 суток.

При проведении целенаправленных исследований по отработке средств поражения, содержащих ПЭ, средств индивидуальной бронезащиты (СИБ) возникла необходимость в отработке методики расчета КПД, использующей дифференцированные критерии поражения, основанные

на конкретных морфометрических признаках повреждения ткани ЖС при различных локализациях повреждений, например, факт пробития кожи, наличия перелома длинных трубчатых костей конечности, длины раневого канала, достаточной для повреждения жизненно важных органов (ЖВО), в зависимости от массы ПЭ.

Применительно к открытой ЖС КПД могут быть получены эмпирическим методом путем статистической обработки результатов специальных испытаний, а также аналитическим методом с использованием существующих общепринятых зависимостей, составляющих основу моделей оценки поражения ЖС [10].

В результате статистической обработки результатов специальных испытаний, представлен-

ных в [6], с использованием метода наименьших квадратов, получены статистические модели зависимости критических значений параметров ПЭ (скорости V_k , кинетической энергии E_k), обеспечивающих различные виды поражений открыто расположенной ЖС противника от массы ПЭ, представленные в табл. 1.

Использование аналитических моделей для оценки КПД конкретных ПЭ связано с введением ряда допущений, которые предопределяют определенные погрешности в числовых значениях КПД. Однако, этот метод может найти широкое применение для получения оценочных критериев в условиях информационной неопределенности [6] при проектировании новых конструкций ПЭ и СИБ.

Таблица 1

Вид статистических моделей зависимости критических значений параметров ПЭ (скорости V_k , кинетической энергии E_k), обеспечивающих различные виды поражений открыто расположенной ЖС противника от массы ПЭ

№ п/п	Вид поражения	Вид статистической модели	Коэффициенты модели			Среднее отклонение, %	Средне-квадратическое отклонение	Коэффициент корреляции
			a	b	b^2			
Статистические модели вида $V_{\kappa} = f(m)$								
1	Ранения незащищенной кожи	$Y = a \cdot x^{b \cdot \exp(b_2 x)}$	85,320	− 0,349	0,286	1	0,031	0,999
2	Внедрение в тело на глубину 5 см		197,840	− 0,169	− 0,041	1	0,009	0,999
3	Ранение бедра с неполным переломом бедренной кости		235,402	− 0,468	0,060	1	0,044	0,999
Статистические модели вида $E_{\kappa} = f(m)$								
4	Ранения незащищенной кожи	$Y = a + bx$	1,423	4,986	−	1	0,233	0,999
5	Внедрение в тело на глубину 5 см	$Y = ax^b$	18,394	0,008	−	1	0,008	0,999
6	Ранение бедра с неполным переломом бедренной кости		30,874	0,106	−	1	0,001	0,999

Примечание: область определения аргумента от 0,1 до 0,86 г

Модель оценки КПД аналитическим методом сводится к реализации следующего алгоритма [10]. При расчете проникновения ПЭ в тело граничная скорость проникания, которая показывает минимальный предел скорости, при котором ПЭ будет способен пробивать кожу и проникать в мягкие ткани составляет 84 м/с.

В тканях скорость движения современных ПЭ значительно ниже скорости распространения звука в биологической среде (<1500 м/с) и число Маха не превышает 0,5–0,6, коэффициент лобового сопротивления (C_1) относительно постоянен и принимается в виде константы. При использовании данных приведенных выше становится возможным рассчитать скорость ПЭ, необходимую для проникания в тело на заданную глубину, а также итоговую глубину проникновения ПЭ в ткани по зависимостям [10]:

$$V_x = V_{gr} \cdot e^{\frac{C_1 \rho S x}{2m}}; \quad (1)$$

$$x = \frac{2m}{C_1 \rho S} \cdot \ln \left(\frac{V_c}{V_{gr}} \right), \quad (2)$$

где V_x — скорость ПЭ, необходимая для проникания на глубину x , м/с;

V_{gr} — граничная скорость для проникновения в данную среду, м/с (для стальных шариков — 84 м/с, для стальных осколков — 94 м/с);

V_c — контактная скорость, м/с;

C_1 — коэффициент лобового сопротивления (для стальных шариков — 0,36, для стальных осколков — 0,59);

S — площадь поперечного сечения ПЭ, м²;

m — масса ПЭ, кг;

x — глубина проникания ПЭ в ткани, м.

Формула для расчета глубины проникания в кость [7]:

$$P = k_{\phi} \cdot \frac{m}{D} \cdot \left(\frac{V - 60}{100} \right), \quad (3)$$

где k_{ϕ} — коэффициент учитывающий форму ПЭ (для пуль со сферическим наконечником — 0,30, для тупоголовых пуль — 0,15);

D — диаметр мишени сечения ПЭ в мм;

V — скорость встречи ПЭ с костью.

В формуле (3) из скорости встречи V вычитается 60 м/с — учитывается потеря скорости из-за столкновения. Это значит, что ПЭ с меньшей, чем 60 м/с скоростью, приведет только к ушибу кости и не повредит мягкие ткани за костью (это относится к пулям со сферическим наконечником или шарикам); если будут использованы пули с большой площадью поперечного сечения или очень острым наконечником, то ограничение скорости будет ниже.

Формула для расчета потери скорости ПЭ при прохождении кости определенной толщины примет вид [7]:

$$V_r = V_0 \cdot \left[\left(1 - 2,3 \cdot \frac{10^5}{V_0^2} \cdot P \cdot \frac{D}{m} \right) \right]^{1/2}, \quad (4)$$

где V_0 — скорость встречи ПЭ с костью.

Адекватность описанной модели оценивалась сравнением данных, полученных путем сравнения известных результатов численного моделирования потери скорости на пробитие одного слоя баллистического желатина заданной толщины, используемого в качестве имитатора мягких тканей, с разработанной аналитической моделью, представленной выше [10].

Результаты такого сравнения представлены в табл. 2.

Максимальное отклонение, полученное по расчетам, составляет 31 %, что является достаточно удовлетворительным, с учетом того, что для описания проникания в приведенных источниках были выбраны различные модели проникания, а также учитывалась деформация ПЭ и характеристики временной пульсирующей поло-

Таблица 2

Сравнение результатов численного и аналитического моделирования для проникания ПЭ в мягкие ткани

Диаметр ПЭ, м	Масса ПЭ, м	Плотность мягких тканей, кг/м ³	Глубина проникания, мм	Скорость соударения, м/с	Скорость на выходе из мягких тканей, м/с		Отклонение, %
					численное моделирование	аналитическая модель	
0,00762	0,0102	1050	121	337	302,12	229,67	31,8
0,0083	0,0102	1050	118	462	304,5	376	23,4

сти, в то время как аналитическая модель этого не учитывает.

Сравнение аналогичных результатов для проникания ПЭ в кость представлено в табл. 3 [10].

В случае с костями отклонение составляет всего 3 %. Это объясняется особенностью физического процесса проникания ПЭ в кость, который представляет собой хрупкое разрушение.

Таким образом, аналитическая модель проникновения [7] достаточно адекватно оценивает затрату энергии ПЭ на пробитие слоев мягких тканей определенной толщины и пробитие кости определенного диаметра и может быть использована в расчетах для предварительной оценки КПД ПЭ.

Рассматриваемая аналитическая модель может быть использована для оценки КПД ПЭ по ЖС в СИБ с учетом величины введения дополнительного критериального параметра — энергии ΔE на пробитие защитной структуры (ЗС) СИБ в виде [7]

$$\Delta E = \frac{mv_{\text{пот}}^2}{2} \cdot \left(\frac{2 \cdot v}{v_{\text{пот}}} - 1 \right),$$

где v — скорость ПЭ до взаимодействия с ЗС СИБ, м/с;

$v_{\text{пот}}$ — скорость ПЭ, затраченная на пробитие ЗС СИБ, м/с.

При превышении порогового значения энергии ΔE ЗС СИБ будет пробита и ПЭ будет проникать в тело. Дальнейший алгоритм исследований предполагает оценку возможности проникания ПЭ в мягкие и костные ткани в соответствии с зависимостями (1)–(4).

Таким образом, применение энергетических КПД для оценки эффективности действия ПЭ по ЖС является достаточно трудоемкой задачей. В связи с этими обстоятельствами при проведении некоторых видов испытаний ПЭ, при решении прикладных инженерных задач целе-

сообразно использовать различные «мишенные эквиваленты» ЖС и по результатам их пробития или не пробития оценивать эффективность ПЭ.

Небиологические имитаторы

Классическими разновидностями «мишенных эквивалентов» являются щиты из дюймовых сосновых досок, а также других листовых структур различной природы и толщины. Толщина «мишенных эквивалентов», как правило, определяется эмпирическим путем в соответствии с заданными параметрами ПЭ [5, 6, 11]. Так, ПЭ, обладающий достаточной убойной силой по открытой ЖС, способен пробить насквозь сухую сосновую доску толщиной в 25,4 мм [5, 6, 12].

Для оценки достаточности убойной силы конкретного ПЭ по ЖС в СИБ различных классов ЗС возникает необходимость в установлении соответствующих «мишенных эквивалентов». В целях реализации системного подхода к обоснованию номенклатуры «мишенных эквивалентов» для оценки КПД ПЭ по ЖС в СИБ были проведены специальные экспериментальные исследования.

Принимая во внимание, что в качестве «мишенного эквивалента» открытой ЖС используется сухая сосновая доска толщиной в 25,4 мм, в качестве методической основы обоснования номенклатуры «мишенных эквивалентов» ЖС в СИБ различных классов ЗС были использованы щиты толщиной до 127 мм, изготовленные из сухих сосновых досок.

Экспериментальные исследования проводились методом обстрела деревянных щитов стальными шариками массой 1,1 г [13, 14]. В ходе экспериментов на каждом опыте измерялась скорость ($V_{\text{ПЭ}}$, м/с) шарика методом неконтактной соленоидной блокировки и глубина ($h_{\text{ПЭ}}$, мм) его внедрения в деревянный щит. В результате обработки экспериментальных дан-

Таблица 3

Сравнение результатов эксперимента и аналитического моделирования для проникания ПЭ в кость

Диаметр ПЭ, м	Масса ПЭ, м	Диаметр кости, м	Скорость соударения, м/с	Скорость на выходе из мягких тканей, м/с		Отклонение, %
				Эксперимент	Аналитическая модель	
0,00762	0,0102	0,03	830	734	710	3

ных с использованием метода наименьших квадратов получены статистические модели зависимости скорости шарика от глубины его внедрения в деревянный щит вида:

– для деревянных щитов толщиной 127 мм (5 слоев досок толщиной 25,4 мм)

$$V_{ПЭ} = 0,0017 \cdot h_{ПЭ}^{1,7}, \quad (5)$$

коэффициент корреляции — 0,996;

– для деревянных щитов толщиной 25,4 мм (1 слой досок толщиной 25,4 мм)

$$V_{ПЭ} = 6,121 \cdot h_{ПЭ} + 111,720, \quad (6)$$

коэффициент корреляции — 0,987.

Полученную статистическую модель вида (5) также можно использовать при решении других прикладных задач, связанных с прогнозированием энергетических параметров ПЭ, например, в осколочном поле большой плотности, когда штатные средства измерения скорости ПЭ использовать невозможно или нецелесообразно в связи с ограничениями, регламентированными разработчиками [15, 16].

Например, при исследовании кинетических характеристик и проникающей способности

готовых поражающих элементов (ГПЭ) в виде стальных шариков при их метании взрывом зарядом ППВ-4 были использованы деревянные щиты толщиной 127 мм.

Вид ГПЭ и мишенной обстановки при проведении полигонных испытаний представлен на рис. 1.

В результате испытаний ГПЭ попали в деревянные щиты и углубились на различные расстояния. Вид деревянных щитов после испытаний представлен на рис. 2.

ПЭ были извлечены из щитов, при этом были определены глубины их внедрения в щиты.

С использованием статистической модели вида (6) были определены скорости для каждого ГПЭ.

Была произведена оценка убойного действия для каждого ГПЭ по открытой ЖС по критерию пробития сосновой доски толщиной 25,4 мм (первого слоя деревянных щитов) и сделан прогноз оценки убойного действия ГПЭ по ЖС в СИБ различных классов ЗС.

Следует отметить, что при изготовлении деревянных щитов из сосновых досок возникают некоторые методические трудности. Для таких щитов используются доски одинаковой структуры, причем наличие на них сучков и других де-

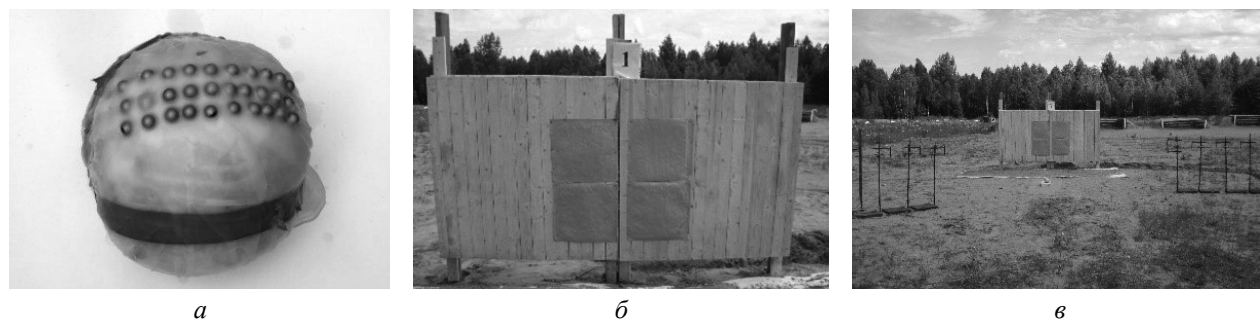


Рис. 1. Проведение полигонных испытаний: а — вид ГПЭ с зарядом ППВ-4; б — вид деревянных щитов толщиной 127 мм; в — вид мишенной обстановки



Рис. 2. Вид лицевых слоев деревянных щитов после испытаний: а — щит № 1 (левый); б — щит № 2 (правый)

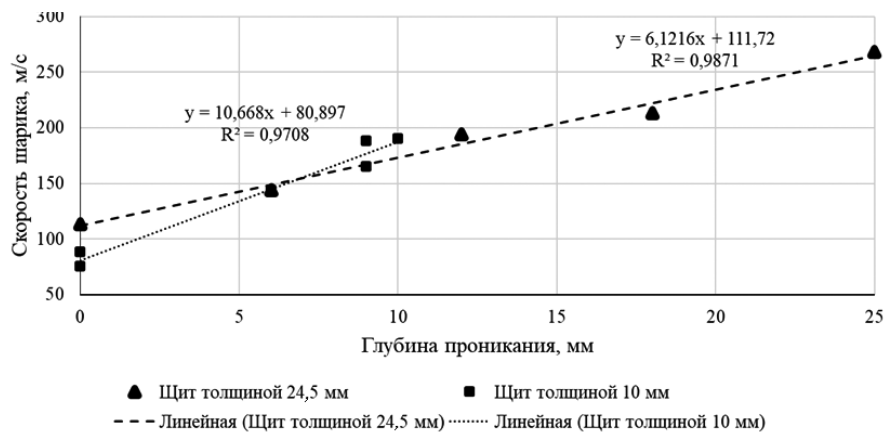


Рис. 3. Сравнительные характеристики статистических моделей внедрения аналогичных ПЭ в деревянный щит толщиной 25,4 мм и фанерный щит толщиной 10 мм

фектов не допускается. Если при изготовлении «мишенного эквивалента» для открытой ЖС из одного ряда досок толщиной 25,4 мм подобрать доски одинаковой структуры, в принципе, возможно, то при изготовлении многослойного «мишенного эквивалента» (до пяти рядов досок) при оценке убойного действия ПЭ по ЖС в СИБ различных классов ЗС обеспечить однородность «мишенного эквивалента» затруднительно, что может привести к значительным погрешностям при определении КПД ПЭ.

В связи с отмеченными обстоятельствами возникла объективная необходимость в использовании новых листовых материалов в качестве «мишенного эквивалента» при оценке убойного действия ПЭ, особенно по ЖС в СИБ различных классов ЗС.

Для этого были проведены экспериментальные исследования. В качестве листового материала был использован лист фанеры ФК толщиной 10 мм, который был обстрелян ПЭ в виде стальных шариков. В ходе экспериментов на каждом опыте измерялась скорость ($V_{ПЭ}$, м/с) шарика методом неконтактной соленидной блокировки и глубина ($h_{ПЭ}$, мм) его внедрения в щит из фанеры. В результате обработки экспериментальных данных с использованием метода наименьших квадратов получена статистическая модель зависимости скорости шарика от глубины его внедрения в деревянный щит вида

$$V_{ПЭ} = 10,668 \cdot h_{ПЭ} + 80,897. \quad (7)$$

Коэффициент корреляции составляет 0,9708.

Сравнительные характеристики статистических моделей видов (6) и (7) представлены на рис. 3.

Анализ результатов, представленных на рис. 3, показывает, что при изготовлении «мишенного эквивалента» для открытой ЖС, так ЖС в СИБ могут быть использованы листы фанеры толщиной 10 мм. При этом, в связи с однородностью структуры фанерных щитов, их предпочтительно использовать при изготовлении многослойных «мишенного эквивалентов». Следует отметить, что, зная глубину проникания ПЭ в фанерный щит толщиной 10 мм, можно определить его скорость и глубину проникания при такой же скорости в щит из сосновых досок толщиной 25,4 мм, и наоборот. Однако, ПЭ будет пробивать фанерный щит толщиной 25,4 мм при меньших скоростях, нежели щит аналогичной толщины, изготовленный из сосновых досок.

Выводы

Анализ возможности использования КПД для определения эффективности осколочных потоков показал, что аналитические методы используемые для вычисления КПД не только достаточно трудоемки, но также и несут ряд ошибок, вызванных допущениями при расчетах, приводящих к значительным погрешностям. Использование параметра КПД обосновано для начальных этапов проектирования снарядов или СИБ, однако на последующих этапах проектирования требуется использование экс-

периментальных методов с небиологическими объектами.

Использование в качестве небиологического объекта сосновых досок толщиной 25 мм вызывает ряд методических трудностей, связанных с выбором досок, методов крепления, поэтому актуальным является исследование возможности использования других листовых материалов. Предложенный в данной статье небиологический объект в виде листа фанеры толщиной 10 мм возможно использовать для экспериментальных исследований и проведения испытаний. С учетом выведенных зависимостей возможно переносить результаты испытаний между щитами из фанеры толщиной 10 мм и сосновыми досками толщиной 25,4 мм.

Список источников

1. Гук И.В., Спивак А.И., Васильева С.Н. и др. Исследование возможности применения баллистических установок различных способов метания поражающих элементов при оценке противоосколочной стойкости перспективных защитных структур // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2024. № 9–10 С. 118–132.
2. Сильников М.В., Гук И.В. Приближенный метод решения смешанной игровой задачи с разнотипными средствами нападения и защиты // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2024. № 9–10. С. 3–8.
3. Григорьев Ю.А. О необходимости развития теории осколочных боеприпасов // НиКа. 2010. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-neobhodimosti-razvitiya-teorii-oskolochnyh-boepripasov> (дата обращения: 10.07.2025).
4. Логаткин С.М., Есин Б.В., Спивак А.И. и др. Разработка баллистического стенда-имитатора конечностей человека для оценки эффективности тканевых противоосколочных средств защиты // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2012. № 7–8. С. 128–130.
5. Боеприпасы: учебник: в 2 т. [под общей ред. В.В. Селиванова]. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. 508 с.
6. Концептуальные основы создания средств индивидуальной защиты. Часть 1. Бронежилеты; под общей ред. В.Г. Михеева. М.: Межакадемическое издание «Вооружение. Политика. Конверсия». 2003. 340 с.
7. Озерецковский Л.Б., Гуманенко Е.К., Бояринцев В.В. Раневая баллистика: история и современное состояние огнестрельного оружия и средств индивидуальной бронезащиты: [монография]. Санкт-Петербург: Калашников, 2006. 374 с.
8. Rohne H. Studie iiber den Schrapnellschuss der Feldartillerie. Berlin, 1894. 125 p.
9. Ефимов Н.Е., Дудкин Ю.П. Оценка поражающего действия боеприпасов в обычном вооружении. Л., 1990. 45 с.
10. Васильева С.Н., Денисов А.В., Гук И.В. Модель оценки поражения живой силы в средствах индивидуальной бронезащиты // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2022. № 5–6. С. 76–84.
11. Васильев Н.Н., Спивак А.И., Пугачев А.Н. и др. Методологические проблемы информационной неопределенности при разработке средств индивидуальной бронезащиты // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2014. № 11–12. С. 11–16.
12. Филатов Н. Краткие сведения об основах стрельбы из ружей и пулеметов. 2-е изд. М.: Государственное издательство. Отдел военной литературы, 1930. 232 с.
13. Васильев Н.Н., Спивак А.И., Дмитриев В.Я. и др. Экспериментальная оценка баллистических параметров высокоскоростных поражающих элементов в осколочном потоке большой плотности // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2016. № 708. С. 76–81.
14. Васильев Н.Н., Спивак А.И., Дмитриев В.Я. и др. К вопросу оценки противоосколочной стойкости защитных структур // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2014. № 1–2. С. 68–72.
15. Пучков А.С., Гук И.В., Спивак А.И., Васильева С.Н. Экспериментальное и теоретическое исследование работоспособности противоосколочных изделий // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2025. № 2. С. 141–150.

16. Сильников М.В., Сильников Н.М., Гук И.В. и др. Защитные структуры на основе механоактивированных энергетических композитов // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2024, № 1. С. 126–130.

References

1. Guk I.V., Spivak A.I., Vasilyeva S.N. et al. Study of the possibility of using ballistic launchers with different methods of throwing striking elements when assessing the anti-fragmentation resistance of promising defensive structures // Issues of Defense Equipment. Series 16. Technical means of countering terrorism. 2024. No 9–10. Pp. 118–132.

2. Silnikov M.V., Guk I.V. Approximate method for solving a mixed game problem with different types of offensive and defensive means // Issues of Defense Equipment. Series 16. Technical means of countering terrorism. 2024. No 9–10. Pp. 3–8.

3. Grigoriev Yu.A. On the need to develop the theory of fragmentation ammunition // NiKa. 2010. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/oneobhodimosti-razvitiya-teorii-oskolochnykh-boepripasov> (date of accesse: 10.07.2025).

4. Logatkin S.M., Esin B.V., Spivak A.I. et al. Development of a ballistic rig simulating human limbs to evaluate the effectiveness of fabric anti-fragmentation protective equipment // Issues of Defense Technology. Series 16. Technical Means of Countering Terrorism. 2012. No 7–8. Pp. 128–130.

5. Ammunition: textbook: in 2 vol.; ed. by V.V. Selivanov. Moscow: Publishing House of Moscow State Technical University named by N.E. Bauman, 2016. 508 p.

6. Conceptual Foundations for the Development of Personal Protective Equipment. Part 1. Bulletproof Vests; ed. by V.G. Mikheev. Moscow: Inter-Academic Publication «Armament. Policy. Conversion». 2003. 340 p.

7. Ozeretskovsky L.B., Gumanenko E.K., Boyarintsev V.V. Wound Ballistics: History and Current State of Firearms and Personal Body

Armor: monograph. St. Petersburg: Kalashnikov, 2006. 374 p.

8. Rohne H. Studies of the Wound Ballistics of the Feldartillerie. Berlin, 1894. 125 p.

9. Efimov N.E., Dudkin Yu.P. Evaluation of the Lethal Effect of Ammunition in Conventional Weapons. Leningrad, 1990. 45 p.

10. Vasilyeva S.N., Denisov A.V., Guk I.V. Model for Assessing the Damage to Manpower in Personal Body Armor // Issues of Defense Equipment. Series 16. Technical Means of Countering Terrorism. 2022. No 5–6. Pp. 76–84.

11. Vasiliev N.N., Spivak A.I., Pugachev A.N. et al. Methodological Problems of Information Uncertainty in the Development of Personal Body Armor // Issues of Defense Equipment. Ser. 16. Technical Means of Countering Terrorism. 2014. No 11–12. Pp. 11–16.

12. Filatov N. Brief Information on the Basics of Firing Rifles and Machine Guns // Second Edition. Moscow: State Publishing House. Department of Military Literature, 1930. 232 p.

13. Vasiliev N.N., Spivak A.I., Dmitriev V.Ya. et al. Experimental evaluation of ballistic parameters of high-speed damaging elements in a high-density fragmentation flow // Issues of Defense Equipment. Ser. 16. Technical means of countering terrorism. 2016. No 7–8. Pp. 76–81.

14. Vasiliev N.N., Spivak A.I., Dmitriev V.Ya. et al. On the issue of assessing the anti-fragmentation resistance of protective structures // Issues of Defense Equipment. Ser. 16. Technical means of countering terrorism. 2014. No 1–2. Pp. 68–72.

15. Puchkov A.S., Guk I.V., Spivak A.I. et al. Experimental and Theoretical Study of the Performance of Anti-Fragmentation Products // Bulletin of the Russian Academy of Rocket and Artillery Sciences. 2025. No 2. Pp. 141–150.

16. Silnikov M.V., Silnikov N.M., Guk I.V. et al. Protective Structures Based on Mechanically Activated Energy Composites // Bulletin of the Russian Academy of Rocket and Artillery Sciences. 2024. No 1. Pp. 126–130.