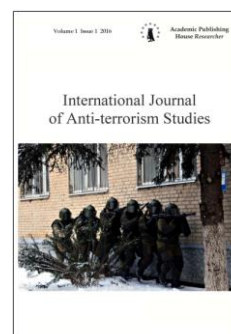


Copyright © 2016 by Academic Publishing House Researcher s.r.o.



Published in the Slovak Republic
International Journal of Anti-terrorism Studies
Has been issued since 2016.
E-ISSN: 2454-0838
2016, 1(1): 21-29

DOI: 10.13187/ijats.2016.1.21
www.ejournal50.com



Evaluation of the Velocity's Uneven of Striking Elements of the Improvised Explosive Device

Maxim G. Ivonin ^a, Nicholas W. Mitiukov ^b

^a Izhevsk State Technical University MT Kalashnikov, Russian Federation

^b International network center of fundamental and applied research, Russian Federation

Abstract

On the basis of the law of conservation of momentum there was developed a model that allows to evaluate the uneven velocity of striking element of the improvised explosive device. In conclusion, it is noted that to engage targets at the greatest possible distance the striking element should have the maximum possible energy of motion, i.e., the best packaging is packaging in 1 row. To increase the compactness there can be placed submunitions in two rows with a minimum distance, if target is close and easily smitten.

Keywords: striking element of an improvised explosive device, the score-stick, the terrorist threat.

1. Введение

Разлет поражающих элементов самодельных взрывных устройств является одним из наименее исследованных вопросов, связанных с обеспечением контр-террористических мер. Разработка хорошо апробированной модели, позволяющей определить баллистические параметры поражающих элементов даст возможность повысить эффективность противоосколочной защиты и уже на ранних этапах проектирования объектов повышенной уязвимости от террористического воздействия будет возможно оценить предполагаемый ущерб (Алиев, Калинин, 2013).

В настоящее время наиболее универсальная методика определения баллистических свойств поражающих элементов содержится в работе Бабкина и др. (Бабкин и др., 2008), но она предполагает, что осколок или поражающий элемент уже имеет некоторую начальную скорость, вопросом определения которой указанные авторы не занимаются. С другой стороны, известны работы, в которых авторы пытаются оценить характеристики и конфигурацию осколочного поля самодельного взрывного устройства (Кобылкин, Марков, 2012), вопрос о распределении начальных скоростей в них также не поднимается.

Большое значение для криминалистики имеет идентификация параметров взрывного устройства по произведенным им разрушениям (Дудаев, 2005; Курин, 1999; Колотушкин и др., 2001; Колотушкин, 2002), но каких-либо аналитических выводов о возможном распределении скоростей поражающих элементов там тоже нет.

С другой стороны, известны работы по определению баллистических характеристик заряда дроби охотничьего патрона (Изметинский, Михайлов, 1995). В связи с этим, в

качестве модели первого приближения, можно воспользоваться примененным там подходом.

2. Гипотеза, методы, постановка задачи

В качестве основной гипотезы при составлении модели принято условие, что первый слой поражающих элементов получает импульс непосредственно от взрывчатого вещества и при последующем взаимодействии передает его последующим слоям поражающих элементов.

В качестве модели поражающих элементов выбраны шарики диаметром $D = 0,03$ м, уложенные в два слоя. Детонация взрывчатого вещества сообщает шарикам первого ряда начальную скорость $V = 700$ м/с. Расчетная схема и основные размеры показаны на рис. 1. Предполагается, что задача симметричная, а потому при моделировании остановимся на трех шариках первого ряда и двух второго. Вектор скорости направлен параллельно поверхности земли, поэтому вид, представленный на рис. 1, это вид сверху.

Задача работы состоит в определении оптимального расположения поражающих элементов для подобного взрывного устройства. Под критерием оптимальности приняты следующие значения:

1. Максимальная скорость поражающего элемента.
2. Равномерность распределения скоростей среди поражающих элементов.

Для проведения расчетов была использована среда Mathcad.

Поскольку задача симметричная, можно считать, что секция ограничена «стенкой», как это показано на рис. 1, соприкосновение со стенкой будем расценивать как удар с симметрично летящим шаром другой секции заряда.

Шарики предполагаются равными по всем массово-габаритным характеристикам, а детонирующий заряд по всей длине секции имеет одинаковую толщину и равномерно воздействует на все шары первого слоя.

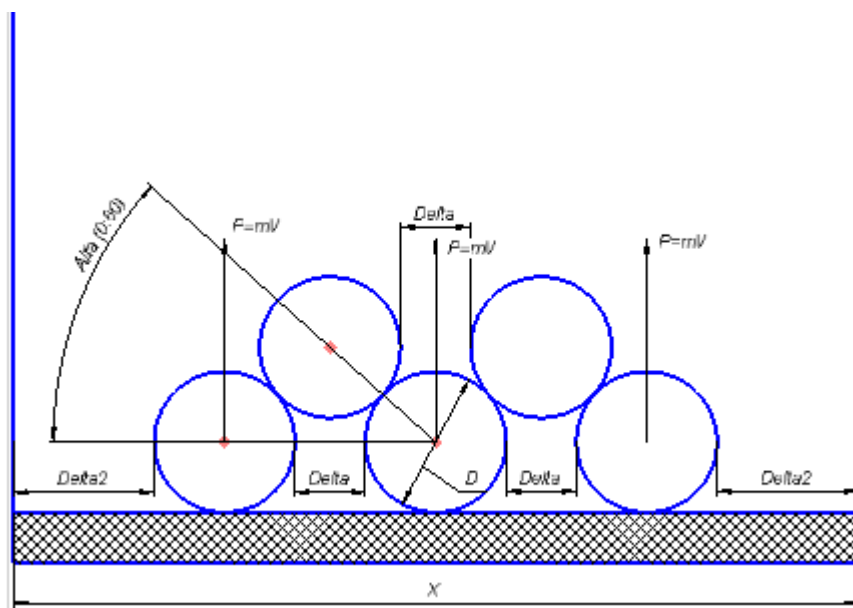


Рис. 1. Расчетная схема расположения шаров

Расстояние между шарами Δ [м], изменяется в интервале от 0 до D , расстояние от шара до стенки – Δ_2 [м], плотность материала шариков $\rho = 7800$ кг/м³.

3. Модель

Для первого взаимодействия шаров 1, 3 и 4 оси координат проведем через центры соприкасающихся шаров (рис. 2). Расстояние между стенками $X = 2(\Delta + \Delta_2) + 3D$.

Угол наклона координатных осей:

$$\text{Alfa} = \arccos\left(\frac{D + \text{Delta}}{2D}\right).$$

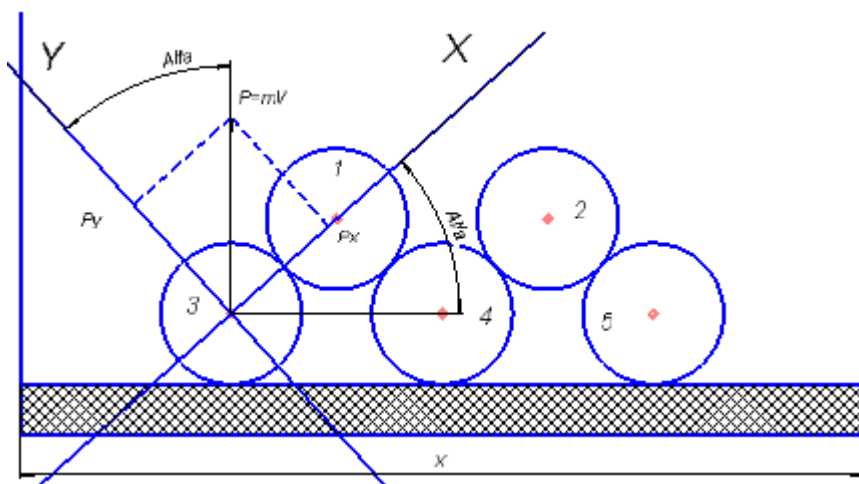


Рис. 2. Взаимодействие шаров 1, 3 и 4.

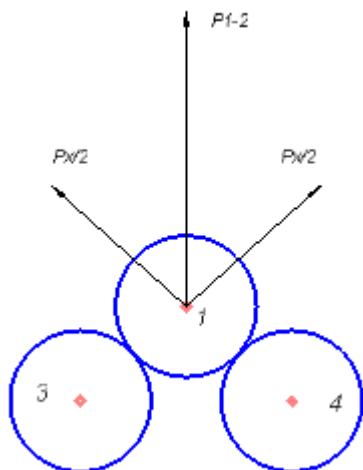


Рис. 3. Определение импульса шарика 1

Рассмотрим взаимодействие шара 1 и 3. Спроецируем импульс P так как показано на рис. 2. Таким образом шар 1 получит импульс равный половине проекции P на ось X . Аналогично взаимодействуют шары 1 и 4. Так как шары «нижнего» ряда вплотную расположены к заряду и шарам «верхнего» ряда то их взаимодействие произойдет мгновенно после детонации. Однако через какой-то малый промежуток времени заряд добавит импульс шарам «верхнего» ряда. Величина этого добавочного импульса равна P умноженное на отношение Delta/D , т.к. отношение площадей зарядов, дающих первоначальный импульс и добавочный импульс, сведется к Delta/D . Суммарный импульс шаров 1 и 2 показан на рис. 3.

Проекция импульса P на ось X : $P_x = P \sin(\text{Alfa})$.

Проекция импульса P на ось Y : $P_y = P \cos(\text{Alfa})$.

Тогда импульс шаров 1 и 2: $P_{12} = P_x \sin(\text{Alfa}) + P \text{Delta} / D$.

Соответственно для шаров 3 и 5 импульс будет равен векторной сумме половине проекции P на ось X и проекции P на ось Y .

$$\text{Далее: } P_{35} = \sqrt{\left(\frac{P_x}{2}\right)^2 + P_y^2}$$

Импульс шаров 3 и 5 будет направлен под углом Beta к заряду. Найдём этот угол (рис. 4).

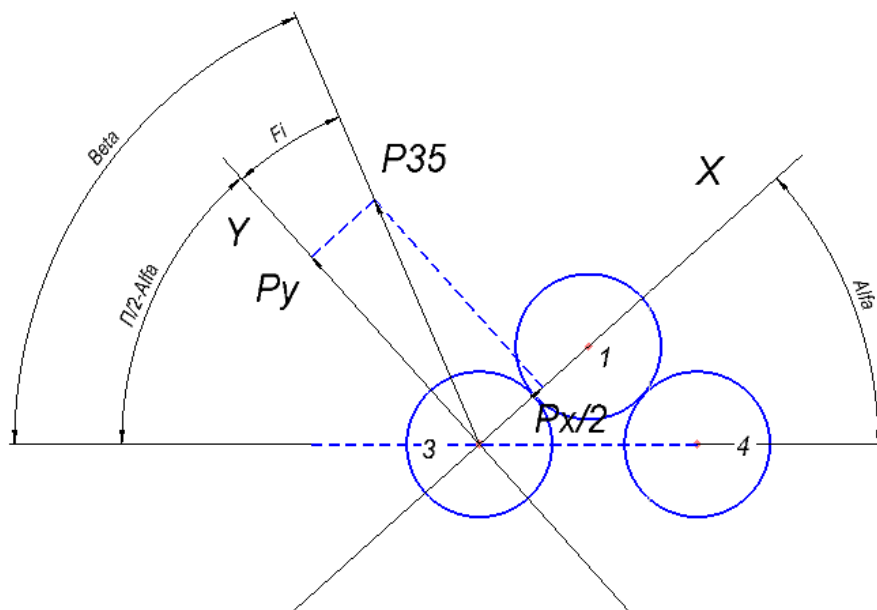


Рис. 4. К определению угла Beta

При условии, что $Fi = \arccos\left(\frac{Py}{P35}\right)$, угол $Beta = Fi + \left(\frac{\pi}{2} - Alfa\right)$.

Шар 4 после контакта с шарами 1 и 2 приобретёт импульс (рис. 5):
 $P4 = P - Px \sin(Alfa)$.

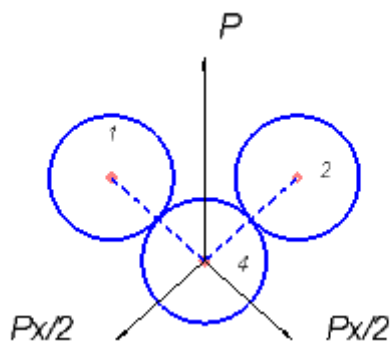


Рис. 5. К определению импульса, получаемого шаром 4

После этого шару приобретут траектории, показанные на рис. 6.

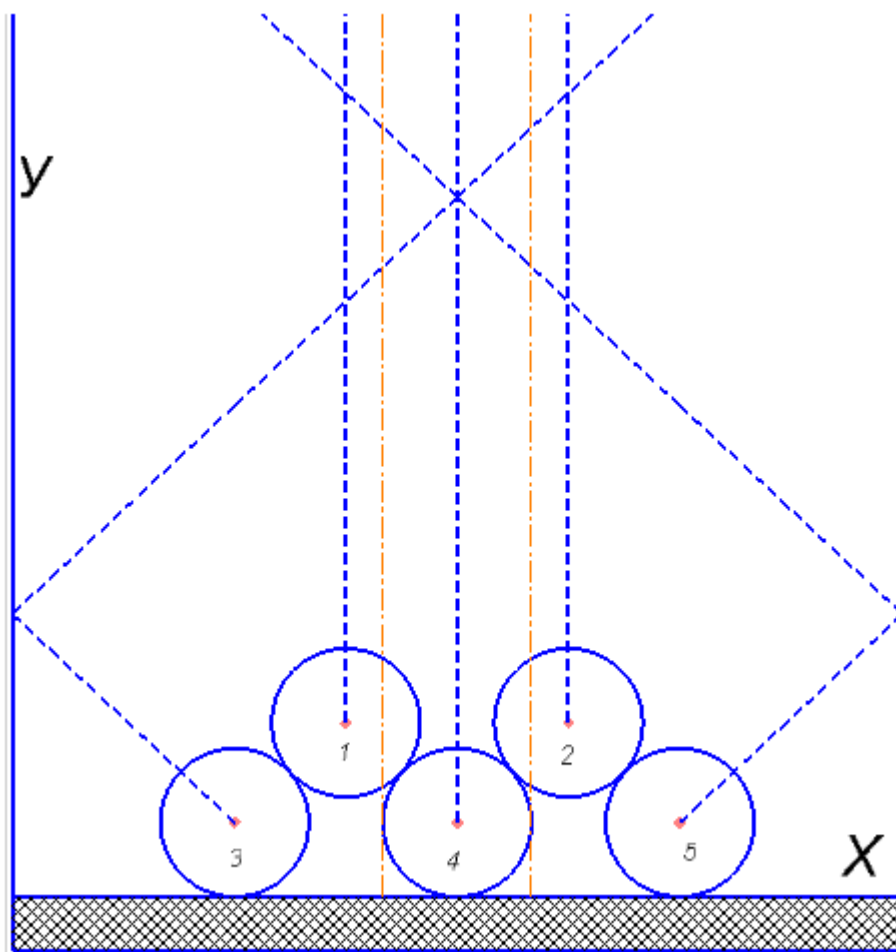


Рис. 6. Траектории шаров после первого взаимодействия

Для удобства расчетов перенаправим оси координат и спроецируем импульсы всех шаров на указанные оси:

$$P_{12x} = 0, P_{12y} = P_{12};$$

$$P_{35x} = P_{35} \cos(\text{Beta}), P_{35y} = P_{35} \sin(\text{Beta});$$

$$P_{4x} = 0, P_{4y} = P_4;$$

Проверим пересечение траекторий шаров 3 и 5 с шаром 4. Шары 3 и 5 по оси X движутся равномерно и симметрично. Рассмотрим шар 3 и рассчитаем время, за которое он пройдет расстояние от начального положения до осевой линии, показанной на рис. 6.

$$\text{Скорость шара 3: } V_{35x} = P_{35x}/m.$$

$$\text{Расстояние, которое он пройдет: } S_{35x} = 2 \Delta_2 + \Delta_1.$$

$$\text{Время полета: } t_{35x} = S_{35x} / V_{35x}.$$

Посмотрим какое расстояние пройдет эти шары по оси Y :

$$S_{35y} = t_{35x} \frac{P_{35y}}{m}; \quad S_{4y} = t_{35x} \frac{P_{4y}}{m}$$

Сравнив эти результаты, становится понятным, пересекутся шары и соответственно верна ли наша модель траекторий. Аналогично проверим пересечение шаров 3 и 5 и шаров 1 и 2 (рис. 7).

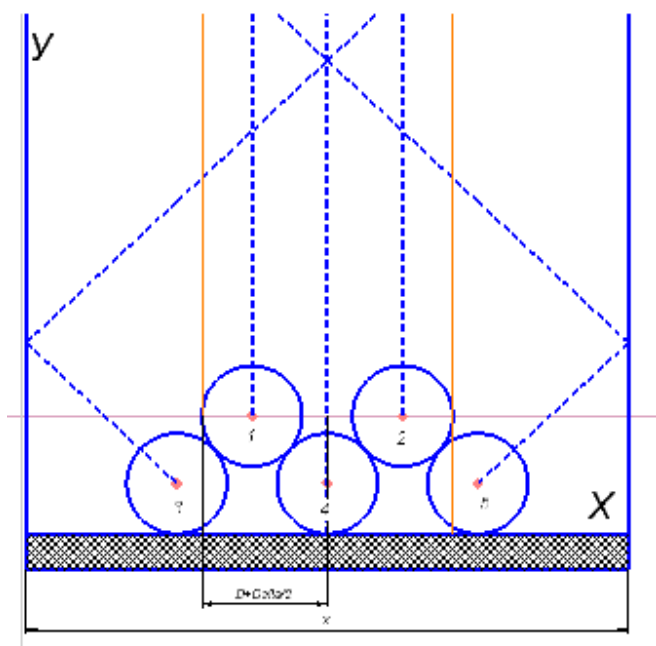


Рис. 7. Определение точек пересечений траекторий

Расстояние, которое проходит шар 3 по оси X: $S_{235x} = \Delta + \left[\frac{X}{2} - \left(2D + \frac{\Delta}{2} \right) \right]$.

Искомое время: $t_{235x} = S_{235x}/V_{35x}$.

Посмотрим какое расстояние пройдут эти шары по оси Y:

$$S_{235y} = \frac{P_{35y} \cdot t_{235x}}{m}, \quad S_{12y} = H_{12} + \frac{P_{12y} \cdot t_{235x}}{m}.$$

Рассмотрим задачу в вертикальной плоскости (перпендикулярно поверхности земли).

В проекции на ось X изменений движения не будет, однако в проекции на ось Y движение будет не равномерным, а равнозамедленным. Соответственно путь по оси Y до возможного столкновения для шаров будет рассчитываться по-другому:

Шары 3, 5 и 4:

$$S_{35gy} = \frac{P_{35y} \cdot t_{35x}}{m} - \frac{g \cdot t_{35x}^2}{2}, \quad S_{4gy} = \frac{P_{4y} \cdot t_{35x}}{m} - \frac{g \cdot t_{35x}^2}{2}$$

Шары 1 и 2, 3 и 5:

$$S_{235gy} = \frac{P_{35y} \cdot t_{235x}}{m} - \frac{g \cdot t_{235x}^2}{2}, \quad S_{12gy} = \frac{P_{12y} \cdot t_{235x}}{m} - \frac{g \cdot t_{235x}^2}{2}.$$

Сравнив результаты можно определить правильность сформулированной модели траекторий.

Для удобства зададим коэффициенты которые показывают пересечение траектории шаров:

$$K_{435} = \frac{S_{35y} - S_{4y}}{D}, \quad K_{435g} = \frac{S_{35gy} - S_{4gy}}{D},$$

$$K_{1235} = \frac{|S_{235y} - S_{12y}|}{D}, \quad K_{1235g} = \frac{|S_{235gy} - S_{12gy}|}{D}$$

Если эти коэффициенты меньше единицы, то расстояние по оси Y в точках расчетных пересечений шаров меньше D, следовательно, шары столкнутся, если же коэффициенты больше единицы то шары не столкнутся. Если шары хаотично сталкиваются, то часть кинетической энергии движения переходит во вращательную энергию. Поэтому важно чтобы шары имели траекторию именно такую как показано на [рис. 6](#).

4. Результаты расчетов и анализ

Рассмотрим, как изменяются скорости шаров при изменении расстояния между ними Delta от 0,001 м до 0,029 м. Подбирая при этом минимальное значение расстояние от шара до «Стенки» Delta2 такое, чтобы шары не пересеклись. Здесь V_{12} – скорость шаров 1 и 2, которая является максимальной скоростью (max), V_{35} – скорость шаров 3 и 5, V_4 – скорость шара 4, $V_{\text{Сред}}$ – средняя скорость шаров, Раз. – разность максимальной и минимальной скоростей.

Delta	Delta2	$V_{12}(\text{max})$	V_{35}	V_4	$V_{\text{Сред}}$	Раз.
0.001	0.0350	536.472	469.683	186.861	397.672	349.611
0.002	0.0320	547.556	476.480	199.110	407.760	348.440
0.003	0.0310	558.250	483.393	211.750	417.798	346.500
0.004	0.0300	568.556	490.416	224.778	427.917	343.778
0.005	0.0295	578.412	497.546	238.194	438.071	340.278
0.006	0.0290	588.000	504.777	252.000	448.259	336.000
0.007	0.0285	597.139	512.106	266.194	458.480	330.944
0.008	0.0280	605.889	519.527	280.778	468.731	325.111
0.009	0.0277	614.250	527.038	295.750	479.013	318.500
0.010	0.0274	622.222	534.634	311.111	489.322	311.111
0.011	0.0273	629.806	542.312	326.861	499.659	302.944
0.012	0.0273	637.000	550.068	343.000	510.023	294.000
0.013	0.0273	643.806	557.900	359.528	520.000	284.000
0.014	0.0274	650.222	565.803	376.444	530.800	273.780
0.015	0.0277	656.250	573.776	393.750	541.259	262.500
0.016	0.0278	661.889	581.815	411.444	551.716	250.444
0.017	0.0278	667.139	589.917	429.528	562.195	237.611
0.018	0.0290	672.000	598.080	448.000	572.693	224.000
0.019	0.0295	676.412	606.302	466.861	583.212	209.611
0.020	0.0310	680.556	614.580	486.111	593.749	194.444
0.021	0.0320	684.250	622.192	505.750	604.304	178.500
0.022	0.0340	687.556	631.295	525.778	614.876	161.778
0.023	0.0360	690.472	639.728	546.194	625.465	144.278
0.024	0.0370	693.000	648.209	567.000	636.070	126.000
0.025	0.0390	695.139	656.736	588.194	646.690	106.944
0.026	0.0450	696.889	665.307	609.778	657.325	87.111
0.027	0.0500	698.250	673.920	631.750	667.973	66.500
0.028	0.0600	699.222	682.575	654.111	678.636	45.111
0.029	0.0900	699.806	691.268	676.861	689.312	22.940
0.030	–	700.000	700.000	700.000	700.000	0.000

В результате расчетов выяснилось, что влияние силы тяжести на пересечение шаров стремится к нулю, следовательно, неважно под каким углом расположен заряд. Если Delta2 больше значений, указанных в таблице, то мы получим расчётную траекторию.

Как видно из таблицы при увеличении расстояния между зарядами значения максимальной скорости V_{12} растёт, значение средней скорости $V_{\text{Сред}}$ растёт и значение разности максимальной и минимальной скорости падает. Все значения стремятся к тем, которые бы получились при укладке заряда в 1 ряд:

$$V_{12} = V_{35} = V_4 = V_{\text{Сред}} = 700 \text{ м/с}$$

5. Заключение

Для поражения целей на максимально возможном расстоянии поражающий элемент должен иметь максимально возможную энергию движения, т.е. наилучшей упаковкой будет упаковка в 1 ряд. Для увеличения компактности можно расположить поражающие элементы

в два ряда с минимальным расстоянием, если цели, поражаемые им, находятся вблизи и легко поражаемы.

Литература

[Алиев, Калинин, 2013](#) – Алиев А.В., Калинин А.А. Математическое моделирование процесса пенетрации трехслойной пластины фрагментами самодельного взрывного устройства // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. 2013. № 9-10. С. 56-62.

[Бабкин и др., 2008](#) – Бабкин А.В., Велданов В.А., Грязнов Е.Ф. Средства поражения и боеприпасы. М., 2008. 984 с.

[Дудаев, 2005](#) – Дудаев А.Б. Общая характеристика самодельных взрывных устройств, используемых в террористических актах, и способы их распознавания по внешним признакам // Международный терроризм: причины, формы и проблемы противодействия: Мат. Междунар. научн.-практ. конф. Белгород, 2005. С. 190-193.

[Изметинский, Михайлов, 1995](#) – Изметинский Н.Л., Михайлов Л.Е. Ижевские ружья. Ижевск: Изд-во «Удмуртский Университет», 1995. 250 с.

[Кобылкин, Марков, 2012](#) – Кобылкин И.Ф., Марков И.В. Использование расчетного комплекса ANSYS Autodyn для оценки характеристик осколочных полей самодельных взрывных устройств // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. 2012. № 9-10. С. 19-22.

[Колотушкин и др., 2001](#) – Колотушкин С.М., Игнашин В.И., Смольяков П.П. Инструментальные методы оценки поражающих свойств при исследовании самодельных взрывных устройств // Актуальные проблемы криминалистики и судебной экспертизы: Межвуз. сб. науч. статей: в 2-х частях. Т. 2. Саратов, 2001. С. 34-36.

[Колотушкин, 2002](#) – Колотушкин С.М. Криминалистическая взрывотехника: основы теории и практики. Волгоград, 2002. 306 с.

[Курин, 1999](#) – Курин Г.И. Криминалистические исследования реконструкции самодельных осколочных взрывных устройств по следам их воздействия на окружающую обстановку. Автореф. ... канд. юрид. наук. Волгоград, 1999. 20 с.

References

[Aliev, Kalinnikov, 2013](#) – Aliev A.V., Kalinnikov A.A. Matematicheskoe modelirovanie protsesssa penetratsii trekhslainoi plastiny fragmentami samodel'nogo vzryvnogo ustroistva [The mathematical modeling of the process of penetration sandwich plates with fragments of improvised explosive device] // Voprosy oboronnoi tekhniki. Seriya 16: Tekhnicheskie sredstva protivodeistviya terrorizmu. 2013. № 9-10. S. 56-62.

[Babkin i dr., 2008](#) – Babkin A.V., Veldanov V.A., Gryaznov E.F. Sredstva porazheniya i boepripasy [Ordnance and munitions]. M., 2008. 984 s.

[Dudaev, 2005](#) – Dudaev A.B. Obshchaya kharakteristika samodel'nykh vzryvnykh ust-roistv, ispol'zuemykh v terroristicheskikh aktakh, i sposoby ikh raspoznaniya po vneshnim priznakam [The general characteristics of improvised explosive devices used in terrorist acts, and their recognition by external signs] // Mezhdunarodnyi terrorizm: prichiny, formy i problemy protivodeistviya: Mat. Mezhdunar. nauchn.-prakt. konf. Belgorod, 2005. S. 190-193.

[Izmetinskii, Mikhailov, 1995](#) – Izmetinskii N.L., Mikhailov L.E. Izhevskie ru-zh'ya [Izhevsk rifles]. Izhevsk: Izd-vo «Udmurtskii Universitet», 1995. 250 s.

[Kobylkin, Markov, 2012](#) – Kobylkin I.F., Markov I.V. Ispol'zovanie raschetnogo kompleksa ANSYS Autodyn dlya otsenki kharakteristik oskolochnykh polei samodel'nykh vzryvnykh ustroistv [The use of calculation complex ANSYS Autodyn to assess the characteristics of fragmentation fields of improvised explosive device] // Voprosy oboronnoi tekhniki. Seriya 16: Tekhnicheskie sredstva protivodeistviya terrorizmu. 2012. № 9-10. S. 19-22.

[Kolotushkin i dr., 2001](#) – Kolotushkin S.M., Ignashin V.I., Smol'yakov P.P. Inst-rumental'nye metody otsenki porazhayushchikh svoistv pri issledovanii samodel'nykh vzryvnykh ustroistv [The instrumental methods for the evaluation of the damaging properties in the study of improvised explosive devices] // Aktual'nye problemy kriminalistiki i sudebnoi ekspertizy: Mezhvuz. sb. nauch. statei: v 2-kh chastyakh. T. 2. Saratov, 2001. S. 34-36.

Kolotushkin, 2002 – Kolotushkin S.M. Kriminalisticheskaya vzryvotekhnika: osnovy teorii i praktiki [Criminalistic explosives: theory and practice]. Volgograd, 2002. 306 s.

Kurin, 1999 – Kurin G.I. Kriminalisticheskie issledovaniya rekonstruktsii samodel'nykh oskolochnykh vzryvnykh ustroystv po sledam ikh vozdeistviya na okruzhayushchuyu obstanovku [The forensic investigation of the reconstruction of the improvised shrapnel explosive devices in the footsteps of their impact on the environment]. Avtoref. ... kand. jurid. nauk. Volgograd, 1999. 20 s.

Оценка неравномерности скорости разлета поражающих элементов самодельного взрывного устройства

Ивонин Максим Георгиевич ^a, Митюков Николай Витальевич ^b

^a Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова, Российская Федерация

^b Международный сетевой центр фундаментальных и прикладных исследований, Российская Федерация

Аннотация. На основе закона сохранения количества движения разработана модель, позволяющая оценить неравномерность скорости поражающих элементов самодельного взрывного устройства. В заключение отмечается, что для поражения целей на максимально возможном расстоянии поражающий элемент должен иметь максимально возможную энергию движения, т.е. наилучшей упаковкой будет упаковка в 1 ряд. Для увеличения компактности можно расположить поражающие элементы в два ряда с минимальным расстоянием, если цели, поражаемые им, находятся вблизи и легко поражаемы.

Ключевые слова: поражающий элемент, самодельное взрывное устройство, баллистика, террористическая угроза.