

Оценка действия кинетических нелетальных элементов

© Д.П. Левин

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

Рассмотрен метод оценки действия кинетических нелетальных элементов по многокомпонентной цели. Представлены некоторые характеристики воздействия, объединяющие до пяти характеристик ударника и цели. Указана необходимость выбора характеристики в зависимости от особенностей возникновения повреждений определенного компонента цели. Результаты сравнения рассчитанных параметров кинетических элементов и пороговых значений характеристик воздействия позволили сделать вывод о безопасных и эффективных расстояниях действия. На основе сопоставления пороговых значений характеристик воздействия с общепринятым ранжированием степени тяжести травмы определены характеристики потери боеспособности. Представлены рассчитанные зависимости эффекта от дозы воздействия для травм грудной клетки различной степени тяжести. В качестве интерполяционной формулы использовано логистическое распределение. На основе проведенных оценок сформулированы технические рекомендации для усовершенствования кинетического элемента как за счет увеличения площади его взаимодействия с целью, так и за счет уменьшения его кинетической энергии.

Ключевые слова: оружие нелетального действия, кинетический элемент, оценка действия, многокомпонентная цель

В современном арсенале сотрудников правоохранительных органов оружие нелетального действия (ОНД) представлено широким спектром боеприпасов и устройств различного действия [1–3]. Выбор конкретного вида ОНД для решения задачи определяется как оперативно-тактическими особенностями операции, так и уровнем опасности, которую нарушители представляют для сторонних гражданских лиц и сотрудников правоохранительных органов. В некоторых ситуациях эффективным решением является применение огнестрельного оружия травматического действия.

Существует ряд проблем, связанных с ОНД этого вида. Во-первых, в Федеральном законе Российской Федерации от 7 февраля 2011 г. № 3-ФЗ «О полиции» в перечне типов специальных средств не упоминаются травматические средства кинетического действия, что усложняет их легитимное применение.

Во-вторых, используемые в России критерии оценки травматических элементов не дают полноценного представления об их действии, что увеличивает вероятность возникновения травм или летального исхода при их применении. Регламентирована только минимальная разрешенная дальность стрельбы из такого оружия, на которой

«невозможно причинение тяжкого вреда здоровью» (приказ Министерства здравоохранения и социального развития Российской Федерации от 22 октября 2008 г. № 584н «Об утверждении норм допустимого воздействия на человека поражающих факторов гражданского оружия самообороны»). При сертификации гражданского травматического оружия используются всего два пороговых параметра: дульную энергию не более 85 Дж и удельную кинетическую энергию у цели не более 50 Дж/см².

Цель данной работы заключается в оценке безопасности и эффективности действия кинетического элемента (КЭ) на примере травматической пули патрона 18,5×55Т с учетом наличия в цели различных компонентов (уязвимых агрегатов) и вероятностной модели их поражения.

Схема рассматриваемого патрона с КЭ приведена на рис. 1. Диаметр резиновой пули составляет 15,6 мм, масса — 13,3 г, начальная скорость — 120 м/с. Элемент выполнен в виде резиновой пули с металлическим сердечником.

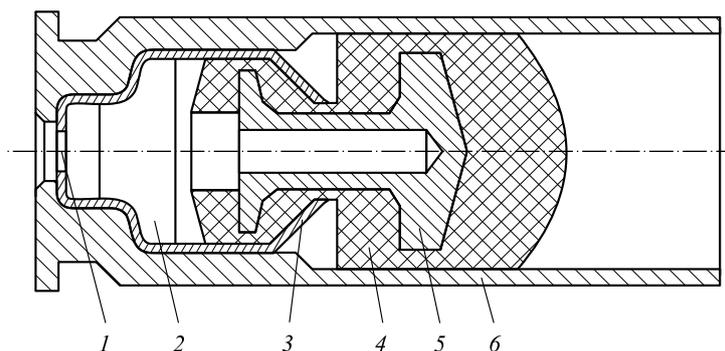


Рис. 1. Схема патрона с КЭ (пулей):

- 1 — электрический капсюль-воспламенитель; 2 — пороховой заряд;
3 — корпус газогенератора; 4 — резиновая оболочка КЭ (пули);
5 — металлический сердечник; 6 — гильза

Предполагается, что патрон 18,5×55Т оказывает останавливающее действие за счет болевого эффекта, возникающего при ударе пули в объект воздействия, не причиняя ему тяжких телесных повреждений на расстоянии 1...25 м от открытого торца гильзы до объекта воздействия.

Действие КЭ можно оценивать разными характеристиками: силой взаимодействия КЭ с преградой; импульсом; кинетической энергией или удельной кинетической энергией, критерием травмы; вязкостным критерием и т. п. Цель необходимо рассматривать как многокомпонентную и характеристики выбирать в зависимости от особенностей возникновения повреждений определенного компонента.

Рассмотрим приведенные характеристики более подробно. Наиболее простой, двухпараметрической характеристикой является кинетическая энергия E_k элемента. Более показательна трехпараметрическая характеристика — удельная кинетическая энергия e :

$$e = \frac{E_k}{A} = \frac{mv^2}{\pi d^2},$$

где A — площадь контакта элемента с целью; m — масса элемента; v — скорость элемента в момент удара; d — диаметр элемента.

В работе [4] была показана возможность использования эмпирической модели с четырьмя параметрами. Модель, полученная в результате анализа экспериментов с животными, была экстраполирована на массу цели, характерную для взрослого человека. Развитием четырехпараметрической модели стала модель с пятью параметрами — так называемый критерий тупой травмы BC (англ. Blunt Criterion), предназначенный для оценки воздействия на грудную клетку:

$$BC = \ln \left(\frac{0,5mv^2}{M^{1/3}Td} \right). \quad (1)$$

где M — масса цели, кг; T — толщина стенки тела, см.

Точное значение величины T определить довольно сложно. Значение T зависит от многих параметров (возраст, пол человека и др.) и варьирует в широких пределах. Чтобы избежать определения этой величины, можно воспользоваться модифицированной формулой:

$$BC = \ln \left(\frac{0,5mv^2}{M^{2/3}kd} \right), \quad (2)$$

где k — эмпирический параметр, принимаемый равным 0,711 для мужчин и 0,593 для женщин.

Аналогичные характеристики КЭ и цели используются в критерии Стардивана [5], определяющем вероятность летального исхода при тупой травме грудной клетки:

$$P(v) = \left[1 + 6,645 \cdot 10^{14} \left(\frac{mv^2}{dM^{1/3}T} \right)^{-3,597} \right]^{-1}.$$

Критерий составлен в результате анализа массива эмпирических данных, полученных в экспериментах на различных животных.

Известен метод определения степени повреждений грудной клетки с помощью вязкостного критерия VC [6]. Этот критерий рассчитывается как произведение скорости V деформации грудной клетки, м/с, и величины сжатия C грудной клетки, %, в зависимости от времени t (рис. 2):

$$VC(t) = V(t)C(t) = \frac{dD(t)}{dt} \frac{D(t)}{D_0},$$

где $D(t)$ — перемещение передней стенки грудной клетки, м; D_0 — начальная толщина грудной клетки, м.

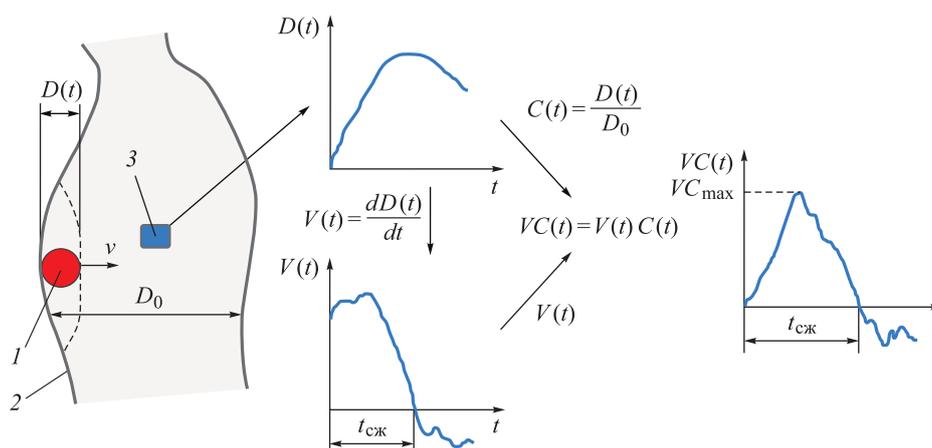


Рис. 2. Схема определения вязкостного критерия $VC(t)$ с использованием биодостоверных имитаторов грудной клетки человека:

1 — ударник (КЭ); 2 — имитатор; 3 — датчик, фиксирующий величину перемещения D передней стенки грудной клетки в зависимости от времени t ; v — скорость КЭ; $t_{сж}$ — длительность фазы сжатия грудной клетки; VC_{max} — максимальное значения критерия VC

На данный момент вязкостный критерий представляется наиболее показательным для оценки действия кинетических непроникающих элементов. Однако для того чтобы определить конкретные значения VC , необходимо проводить лабораторные эксперименты с использованием биомеханических манекенов — биодостоверных имитаторов грудной клетки человека.

Зависимость изменения скорости КЭ на траектории можно принять в виде

$$v(x) = v_0 \exp\left(-\frac{\rho_B S_M c_x}{2m} x\right),$$

где x — расстояние; v_0 — начальная скорость элемента; ρ_B — плотность воздуха; S_M — площадь миделевого сечения элемента; c_x — коэффициент лобового сопротивления.

Поскольку для кинетического ударника характерны дозвуковые малые скорости (~ 120 м/с), без внесения большой погрешности можно допустить, что коэффициент c_x лобового сопротивления не зависит от скорости V движения элемента.

Ниже приведены значения параметров действия КЭ и соответствующие им повреждения при взаимодействии ударника с различными частями тела человека [7]:

Разрушение глазного яблока.....	$E_k = 3,9$ Дж
Повреждение черепа.....	$E_k = 80$ Дж
Повреждение ребер.....	$e = 24$ Дж/см ²
Травма грудной клетки 2-й или 3-й степени тяжести по AIS (вероятность 50 %).....	BC = 0,37
Травма брюшной полости 2-й или 3-й степени тяжести по AIS (вероятность 50 %).....	BC = 0,65
Проникание сквозь кожные покровы (вероятность 50 %).....	$e = 23,9$ Дж/см ²
Слабая боль.....	$e = 2,15$ Дж/см ²
Сильная боль.....	$e = 3,6$ Дж/см ²
Очень сильная боль.....	$e = 6$ Дж/см ²

Повреждения можно классифицировать в соответствии с принятым в Российской Федерации ранжированием степени тяжести заброневой контузионной травмы [8] или в соответствии с более подробной классификацией травм AIS (англ. Abbreviated Injury Scale) [9], что позволит определить характеристики потери боеспособности (длительность утраты боеспособности и длительность ограничения боеспособности).

Сопоставление пороговых значений с расчетной зависимостью параметров ударника от расстояния позволяет сделать вывод о безопасных и эффективных расстояниях действия КЭ.

Зависимости изменения основных параметров действия КЭ от пройденного травматическим элементом расстояния представлены на рис. 3 и 4. При расчете критерия BC массу тела человека принимали равной 70 кг.

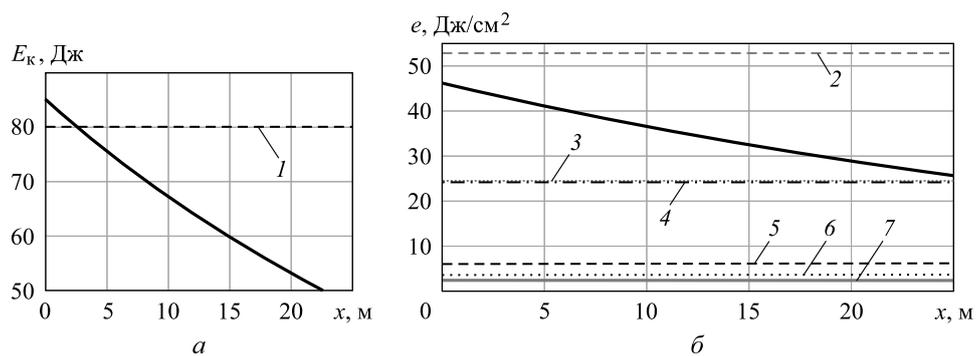


Рис. 3. Зависимости кинетической энергии E_k (а) и удельной кинетической энергии e (б) от расстояния x до цели с указанием пороговых значений для возникновения различных повреждений или болевого эффекта:

1 — повреждение черепа; 2 — повреждение ребер с тыльной стороны; 3 — повреждение ребер с фронтальной стороны; 4 — проникание через кожные покровы; 5 — очень сильная боль; 6 — сильная боль; 7 — слабая боль

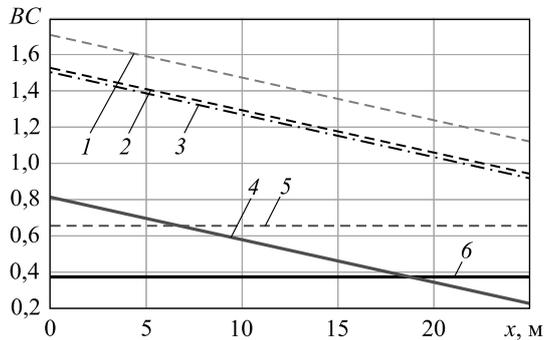


Рис. 4. Зависимость критерия травмы BC от расстояния x до цели:

1 и 2 — BC рассчитан по модифицированной формуле (2) для цели — женщины и мужчины соответственно; 3 и 4 — BC рассчитан по формуле (1) для толщины стенки тела 3 и 6 см соответственно; 5 — травма брюшной полости 2-й или 3-й степени по AIS; 6 — травма грудной клетки 2-й или 3-й степени по AIS

Результаты расчетов позволяют сформулировать следующее заключение о травматическом действии кинетического ударника:

- повреждение черепа (травма 3-й степени тяжести) происходит на расстоянии менее 2,5 м;
- непроникающие ранения ребер с фронтальной стороны и повреждения кожи (травма 2-й степени тяжести) происходят на любом расстоянии из рассматриваемого диапазона (повреждений ребер при попадании с тыльной части грудной клетки не происходит);
- проникание пули сквозь кожные покровы происходит с вероятностью 50 % на всем рассматриваемом диапазоне, что не позволяет называть ее непроникающим КЭ (следует отметить, что в большинстве случаев поверхность тела цели защищена одеждой различной прочности и толщины, существенно снижающей вероятность подобного типа ранения);
- по критерию BC для мужчины массой 70 кг и с толщиной стенки тела 6 см травма грудной области 2-й или 3-й степени тяжести происходит с вероятностью 50 % на дистанции выстрела до 19 м, а травма брюшной области 2-й или 3-й степени тяжести — на всей эффективной дистанции выстрела.

График вероятности P летального исхода в зависимости от дистанции выстрела для рассматриваемой пули представлен на рис. 5. Вероятность P у дульного среза составляет 2 %, на расстоянии 5 м — 1,3 %, на расстоянии 20 м — 0,38 %.

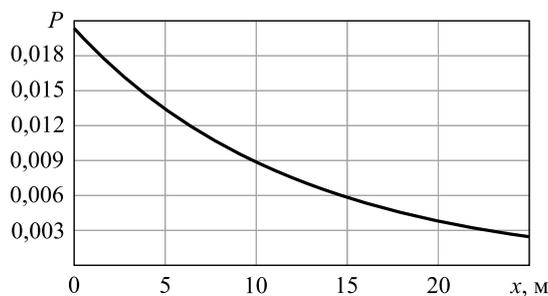


Рис. 5. Зависимость вероятности летального исхода от расстояния x до цели, рассчитанная по модели Стардивана

Для оценки вероятности возникновения травмы той или иной степени тяжести следует использовать зависимости доза — эффект, построенные на основе экспериментальных, теоретических и статистических данных (рис. 6). Оценкой вероятности будет выступать функция относительной частоты наблюдаемого результата X в n независимых экспериментах:

$$N_n(k) = \frac{k}{n} \Leftrightarrow \frac{k(X, n)}{n},$$

где k — число реализаций наблюдаемого результата X в n проведенных испытаниях при условии, что испытания являются независимыми.

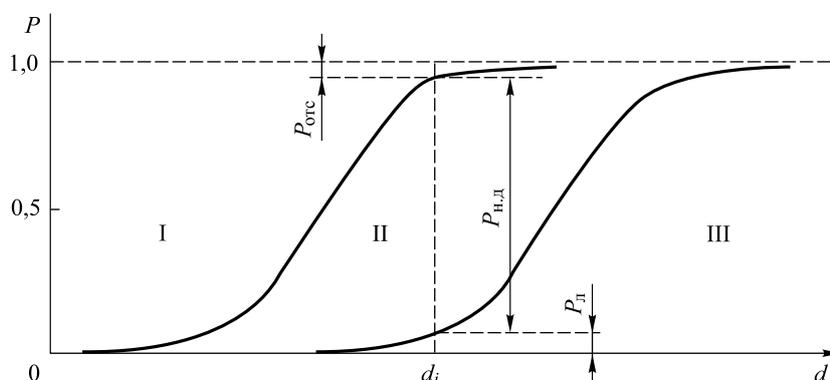


Рис. 6. Идеализированные зависимости возможных исходов (эффекта) при действии нелетального оружия от дозы d воздействия:

I — область отсутствия эффекта; II — область нелетального действия; III — область воздействия более сильного, чем нелетальное; $P_{отс}$ — вероятность отсутствия нелетального эффекта; $P_{н.д}$ — вероятность нелетального действия; $P_{л}$ — вероятность эффекта более сильного, чем нелетальный

Построение кривых доза — эффект для конкретных условий (цели, сценария действий, типа или комбинации типов используемых средств) — задача довольно дорогостоящая, сложная и длительная. Однако качественный вид кривых может быть получен на основе рассмотрения общего математического описания кривых и некоторых количественных данных о дозах, принятых в промышленных нормах безопасности.

Для аппроксимационной оценки эффектов в качестве интерполяционных формул используется логистическое распределение:

$$P(d) = \{1 + \exp[-b(d - d_{0,5})]\}^{-1}$$

или

$$P(d) = \{1 + \exp[-b(\ln d - \ln d_{0,5})]\}^{-1},$$

где $P(d)$ — количественная оценка эффекта, соответствующая дозе d воздействия; b — коэффициент, определяющий интенсивность прироста эффекта при увеличении дозы; $d_{0,5}$ — доза, вызывающая эффект, равный половине максимально возможного.

На рис. 7 представлены рассчитанные зависимости доза — эффект для травм грудной клетки различной степени тяжести. Здесь в качестве параметра «доза» принят критерий травмы BC , наиболее полно описывающий взаимодействие КЭ с целью.

На рис. 8 приведены рассчитанные зависимости вероятности возникновения травм грудной клетки различной степени тяжести от дистанции стрельбы для рассматриваемой пули.

Проведенная оценка действия КЭ позволяет более подробно проанализировать его безопасность и эффективность, а также сформулировать некоторые технические рекомендации для его усовершенствования.

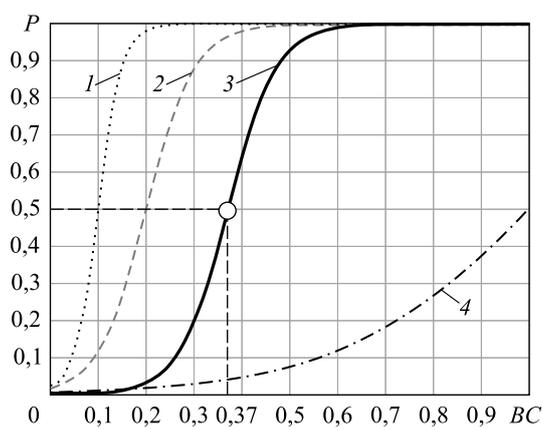


Рис. 7. Зависимость вероятности возникновения эффекта от дозы (параметра BC) для различной степени тяжести травмы грудной клетки:

1 — легкая; 2 — средней тяжести; 3 — тяжелая; 4 — крайне тяжелая

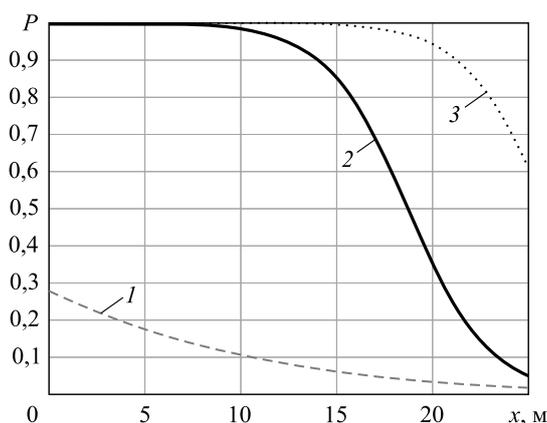


Рис. 8. Зависимость вероятности возникновения травм грудной клетки различной степени тяжести от дистанции стрельбы:

1 — крайне тяжелая; 2 — тяжелая; 3 — средней тяжести

Для повышения безопасности и снижения вероятности проникновения КЭ через кожный покров необходимо понизить удельную кинетическую энергию за счет увеличения площади A взаимодействия пули с целью или уменьшения кинетической энергии E_k .

Увеличения площади A можно достичь следующими способами: увеличение калибра (требуется изменить конструкцию оружия); выбор более пластичного материала для изготовления пули; изменение конструкции боеприпаса (например, пуля с разрезом, выполненным специальным образом, что приводит к ее раскрытию при попадании, либо пуля, выполненная в форме запрессованного в гильзу упругого кольца).

Понизить E_k без потери эффективности можно за счет: увеличения массы элемента и уменьшения его начальной скорости (существенное уменьшение кинетической энергии при незначительном уменьшении импульса); изменения формы снаряда для улучшения его аэродинамических характеристик (уменьшения коэффициента c_x), что приведет к меньшей потере скорости на траектории.

Следует отметить, что для выполнения полноценного анализа необходимо провести оценку действия с использованием экспериментальных данных для построения кривых доза — эффект и определить вероятности возникновения повреждений в соответствии со шкалой травм в зависимости от дистанции стрельбы.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Левин Д.П., Люшнин С.А. Реализация базы данных «Оружие нелетального действия». *Инженерный вестник*, 2013, вып. 10. URL: <http://engsi.ru/doc/631502.html> (дата обращения 30.05.2018).
- [2] Левин Д.П., Люшнин С.А. Анализ специальных средств для разработки архитектуры базы данных «Оружие нелетального действия». *Инженерный вестник*, 2013, вып. 9. URL: <http://engsi.ru/doc/618729.html> (дата обращения 30.05.2018).
- [3] Селиванов В.В., Левин Д.П., Ильин Ю.Д. Методологические вопросы развития оружия нелетального действия. *Военная мысль*, 2015, № 2, с. 10–22.
- [4] Lyon D.H., Bir C.A., Patton B.J. *Injury Evaluation Techniques for Non-Lethal Kinetic Energy Munitions*. Army Research Laboratory, Aberdeen Proving Ground MD, Report № ART-TR-1868, January 1999. URL: <http://www.dtic.mil/docs/citations/ADA360135> (дата обращения 30.05.2018).
- [5] Sturdivan L.M., Viano D.C., Champion H.R. Analysis of Injury Criteria to Assess Chest and Abdominal Injury Risks in Blunt and Ballistic Impacts. *J. of Trauma and Acute Care Surgery*, 2004, vol. 56, no. 3, pp. 651–663. DOI: 10.1097/01.TA.0000074108.36517.D4 (дата обращения 30.05.2018).
- [6] Bir C.A., Viano D.C. Design and injury assessment criteria for blunt ballistic impacts. *J. of Trauma and Acute Care Surgery*, 2004, vol. 57 (6), pp. 1218–1224.
- [7] Papy A., Lemaire E. Evaluation of kinetic energy non-lethal weapons: an aggregated method. *Proc. of the 5th European Symposium on Non-Lethal Weapons*.

- Ettlingen, Germany, Fraunhofer Institut Chemische Technologie, May 11–13, 2009, pp. 48.1–48.7.
- [8] *ГОСТ Р 50744–95. «Бронеодежда. Классификация и общие технические требования»*. Москва, Изд-во стандартов, 2003, 64 с.
- [9] Gennarelli T.A., Wodzin E. AIS 2005: A Contemporary Injury Scale. *Injury*, 2006, vol. 37, no. 12, pp. 1083–1091. DOI: 10.1016/j.injury.2006.07.009 (дата обращения 30.05.2018).

Статья поступила в редакцию 29.05.2018

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Левин Д.П. Оценка действия кинетических нелетальных элементов. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2018, вып. 7.
<http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2018-7-1784>

Левин Денис Петрович — канд. техн. наук, доцент кафедры «Высокоточные летательные аппараты» МГТУ им. Н.Э. Баумана, член-корреспондент РАЕН. Область научных интересов: механика твердого тела, газодинамика. e-mail: dlevin@bmstu.ru

Assessment of kinetic non-lethal elements effect

© D.P. Levin

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russia

The paper focuses on the method for assessing the effect kinetic non-lethal elements produce on a multicomponent target, and introduces some exposure characteristics combining up to five characteristics of a striker and the target. The study stresses that it is necessary to choose a characteristic depending on specific nature of damage occurring in a certain target component. The calculated parameters of kinetic elements were compared with the thresholds of exposure characteristics. This yields a conclusion on safe and efficient range of operation. The thresholds of exposure characteristics were compared with the injury severity ranging, which enable us to identify the non-effectiveness characteristics. The dependencies of exposure effect for chest traumas of various severities were estimated, and logistic distribution was used as an interpolation formula. Based on the assessment done, the paper makes technical recommendations to improve the kinetic element both by increasing the area of element-target interaction and decreasing the element's kinetic energy.

Keywords: non-lethal weapon, kinetic element, operation assessment, multicomponent target

REFERENCES

- [1] Levin D.P., Lyushnin S.A. *Inzhenernyi vestnik — Engineering Bulletin*, 2013, no. 10. Available at: <http://engsi.ru/doc/631502.html> (accessed May 30, 2018).
- [2] Levin D.P., Lyushnin S.A. *Inzhenernyi vestnik — Engineering Bulletin*, 2013, no. 9. Available at: <http://engsi.ru/doc/618729.html> (accessed May 30, 2018).
- [3] Selivanov V.V., Levin D.P., Ilyin U.D. *Voennaya mysl — Military Thought*, 2015, no. 2, pp. 10–22.
- [4] Lyon D.H., Bir C.A., Patton B.J. *Injury Evaluation Techniques for Non-Lethal Kinetic Energy Munitions*. Army Research Laboratory, Aberdeen Proving Ground MD, Report № ART-TR-1868, January 1999. Available at: <http://www.dtic.mil/docs/citations/ADA360135> (accessed May 30, 2018).
- [5] Sturdivan L.M., Viano D.C., Champion H.R. Analysis of Injury Criteria to Assess Chest and Abdominal Injury Risks in Blunt and Ballistic Impacts. *J. of Trauma and Acute Care Surgery*, 2004, vol. 56, no. 3, pp. 651–663. DOI: 10.1097/01.TA.0000074108.36517.D4 (accessed May 30, 2018).
- [6] Bir C.A., Viano D.C. Design and injury assessment criteria for blunt ballistic impacts. *J. of Trauma and Acute Care Surgery*, 2004, vol. 57 (6), pp. 1218–1224.
- [7] Papy A., Lemaire E. Evaluation of kinetic energy non-lethal weapons: an aggregated method. *Proc. of the 5th European Symposium on Non-Lethal Weapons*. Ettlingen, Germany, Fraunhofer Institut Chemische Technologie, May 11–13, 2009, pp. 48.1–48.7.
- [8] *GOSTR 50744–95. Broneodezhda. Klassifikatsiya i osnovnye tekhnicheskie trebovaniya* Armoured clothes. Classification and basic technical requirements]. Moscow, Izdatelstvo standartov Publ., 2003, 64 p.

- [9] Gennarelli T.A., Wodzin E. AIS 2005: A Contemporary Injury Scale. *Injury*, 2006, vol. 37, no. 12, pp. 1083–1091. DOI: 10.1016/j.injury.2006.07.009 (accessed May 30, 2018).

Levin D.P., Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of High-Precision Airborne Devices, Bauman Moscow State Technical University, a corresponding member of Russian Academy of Natural Sciences. Research interests: solid mechanics, gas dynamics.
e-mail: dlevin@bmstu.ru