

Для $\rho/d = 0,125$ и $\lambda_1 = 0,13 + 0,60\rho/d = 0,205$ значение $\alpha_\sigma = 1$, а с учетом (11) $K_{1н} = 1,26\sigma\sqrt{\pi l}$. Если $\lambda = 0,5\lambda_1 = 0,102$, то по (8) и (11) находим $\alpha_{\sigma\lambda} = 1,41$ и $K_{1н} = 1,57\sigma\sqrt{\pi l}$. Для λ , равной 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7, по (3) и (4) получаем величины $K_{1н}/\sigma\sqrt{\pi l}$, соответственно, равными 1,43; 1,67; 2,00; 2,55; 3,64 (рис. а). При $\lambda \rightarrow 0$ отклонение прогнозируемого предлагаемым методом значения $K_{1н} = 2,70\sigma\sqrt{\pi l}$ от КЭ $K_{1н} = 2,91\sigma\sqrt{\pi l}$ составляет $-7,2\%$.

Пример 2. Определить изменение КИН при изгибе стержня с надрезом и трещиной в зависимости от λ (см. рис. б).

При $\lambda \rightarrow 0$ и $t/\rho = 2$ (средний по глубине надрез) по формулам (7) и (12) вычисляем $\alpha_\sigma = 3,91$, $\alpha_{\sigmaн} = 3,04$, $K_{1нн} = 3,04\sigma\sqrt{\pi l}$. Для $\rho/d = 0,125$ и $\lambda_1 = 0,07 + 0,28\rho/d = 0,105$ значение $\alpha_{\sigmaн} = 1$, а с учетом (12) $K_{1нн} = 1,18\sigma\sqrt{\pi l}$. Если $\lambda = 0,5\lambda_1 = 0,052$, то по (9) и (12) значения $\alpha_{\sigma\lambda} = 1,66$ и $K_{1нн} = 1,80\sigma\sqrt{\pi l}$. При λ , равной 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 и 0,55, по (3) и (5) получаем значения $K_{1нн}/\sigma\sqrt{\pi l}$, соответственно, равными 1,41; 1,73; 2,22; 3,00; 3,58 (рис. б). КЭ-значение $\alpha_\sigma = 3,91$, а с учетом формул (7) и (12) находим соответствующие величины $\alpha_{\sigmaн} = 2,90$ и $K_{1нн} = 2,90\sigma\sqrt{\pi l}$. Полученное по предлагаемому методу значение $K_{1нн} = 3,04\sigma\sqrt{\pi l}$ отличается от КЭ-величины $K_{1нн} = 2,90$ на $4,8\%$.

Пример 3. Определить изменение КИН при кручении стержня с надрезом и трещиной в зависимости от λ (см. рис. в).

Получено 15.04.2016

При $\lambda = 0$ и $t/\rho = 4$ (глубокий надрез) по формулам (7), (10) и (13) вычисляем $\alpha_\sigma = 6,15$, $\alpha_\tau = 2,80$ и $K_{3н} = 2,80\tau\sqrt{\pi l}$. Для $\rho/d = 0,083$ и $\lambda_1 = 0,07 + 0,28\rho/d = 0,093$ $\alpha_\tau = 1$, а с учетом (13) значение $K_{3н} = 1,16\tau\sqrt{\pi l}$. Если $\lambda = 0,5\lambda_1 = 0,046$, то используя (10) и (13), получаем $\alpha_{\tau\lambda} = 1,58$ и $K_{3н} = 1,70\tau\sqrt{\pi l}$. При λ , равной 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 и 0,55, по формулам (3) и (6) находим величины $K_{3н}/\tau\sqrt{\pi l}$, соответственно, 1,41; 1,73; 2,22; 3,00 и 3,58 (рис. в). При $\lambda \rightarrow 0$ КЭ-значение $\alpha_\sigma = 6,60$, а с учетом (7) и (3) вычисляем соответствующие величины $\alpha_\tau = 2,96$ и $K_{3н} = 2,96\tau\sqrt{\pi l}$. Расхождение между прогнозируемым $K_{3н} = 2,80\tau\sqrt{\pi l}$ и КЭ $K_{3н} = 2,96\tau\sqrt{\pi l}$ значениями составляет $-5,4\%$.

Пунктиром на рисунке показано изменение КИН для стержней без надрезов.

Сопоставление результатов расчета КИН по полученному и КЭ-решениям позволяет рекомендовать предлагаемый метод для использования при оценке НДС и трещиностойкости элементов конструкций.

Библиографические ссылки

1. Нейбер Г. Концентрация напряжений. – М.; Л.: Гостехиздат, 1947. – 204 с.
2. Добровольский Д. С. Коэффициенты интенсивности напряжений для цилиндрического образца с кольцевой трещиной // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2016. – № 6. – С. 57–59.
3. Справочник по коэффициентам интенсивности напряжений: в 2 т. – Т. 2: пер. с англ. / ред. Ю. Мураками. – М.: Мир, 1990. – 1016 с.

УДК 623.454

В. В. Козлов, доктор технических наук, профессор, Черноморское высшее военное морское училище имени П. С. Нахимова, Севастополь

А. В. Васильев, Черноморское высшее военное морское училище имени П. С. Нахимова, Севастополь

Д. Л. Голубцов, Черноморское высшее военное морское училище имени П. С. Нахимова, Севастополь

ХАРАКТЕР УДАРНО-ВОЛНОВЫХ ПОРАЖАЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ЖИВУЮ СИЛУ В СРЕДСТВАХ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ БРОНЕЗАЩИТЫ

В современных боевых операциях доля потерь личного состава от действий осколков достигает 80%. В настоящее время продолжается непрерывное совершенствование осколочных боеприпасов за счет использования высокоосколочных сталей, в первую очередь кремнистых и высокоуглеродистых, применения готовых поражающих элементов и т. д.

Основываясь на опытных данных, примем распределение осколков артиллерийских снарядов калибра от 82 до 152 мм, представленное в табл. 1.

Как видно, более 75% осколков артиллерийских снарядов имеют массу до 1,0 г, осколки большой массы (более 25 г) встречаются редко [1].

Для правильной оценки повреждения живого организма необходимо знать энергетические уровни

поражающих элементов, вызывающих травмы той или иной степени тяжести.

Таблица 1. Распределение осколков артиллерийских снарядов калибра от 82 до 152 мм

Масса осколков, г	Доля осколков в общем количестве осколков, %	Масса осколков, г	Доля осколков в общем количестве осколков, %
До 0,5	70	10,0...15,0	3,8
0,5...1,0	6,5	15,0...25,0	3,2
1,0...2,0	2,2	25,0...50,0	2,4
2,0...3,0	2,0	50,0...75,0	1,3
3,0...4,0	1,7	75,0...100,0	0,75
4,0...5,0	1,4	Свыше 100,0	0,05
5,0...10,0	4,7		

При математическом подсчете кинетической энергии осколок артиллерийского снаряда массой 0,5...1,0 г на дальности до 35 м может нанести тяжелые и крайне тяжелые повреждения, на дальности от 30 до 55 м – ранения средней тяжести и тяжелые, а на дальности более 50 м – легкой и средней тяжести.

Все это относится к единичным повреждениям. На практике попадание сразу нескольких осколков может привести к гибели военнослужащего, если ему не будет оказана своевременная медицинская помощь.

Вопросы выбора конкретных значений масс для испытаний противоосколочных СИБ тесно связаны с вопросами классификации осколочной опасности при боевых операциях. В значительной степени условно можно выделить две основные градации осколков по массе: мелкие противопехотные осколки ($m < 2$ г) и крупные осколки ($m > 10$ г).

По скорости также условно можно выделить три группы осколков: низкоскоростные ($v = 300...500$ м/с), среднескоростные ($v = 600...800$ м/с) и высокоскоростные ($v = 1000...1200$ м/с). В первом приближении их можно рассматривать как осколки, действующие, соответственно, в дальней, средней и ближней зонах разлета.

Классификация уровней защиты противоосколочных СИБ, построенная в соответствии с принятыми градациями по массе и скорости осколков, представлена в табл. 2. При этом массы малого и большого осколков приняты 1 и 10 г, скорости приняты как средние значения в диапазоне, соответственно, 400, 700 и 1100 м/с [2].

Таблица 2. Классы защиты противоосколочных СИБ

Масса осколка, г	Скорость, м/с		
	300...500	600...800	1000...1200
≤ 2	A80 Дж	B245 Дж	C605 Дж
> 10	D800 Дж	E2450 Дж	F6050 Дж

Для осколочного спектра, состоящего из нескольких массовых групп, и для осколков любой 1-й массовой группы при известных характеристиках цели можно определить наименьшую скорость, при которой осколки (эффективные) группы еще способны наносить повреждения.

Можно определить число эффективных осколков $N_i(r)$ на любом расстоянии r от места подрыва:

$$N_i = N_i R_i(r), \quad (1)$$

где N_i – исходное число осколков i -й массовой группы; $R_i(r)$ – относительное число эффективных осколков на расстоянии от места подрыва для i -й группы.

Опыт применения индивидуальной брони показывает, что факт ее непробития является необходимым, но недостаточным условием. Действительно, в случае непробития в организме могут возникать значительные морфологические и функциональные изменения, которые могут привести даже к летальному исходу.

Явления заброневого действия при ударе без пробития следует рассматривать в следующих аспектах:

- волновом, связанном с распространением упругих и упругопластических волн от преграды в тело человека;
- местного движения тыльной поверхности, приводящего к локальным контузионным ранениям;
- передачи количества движения телу человека от приведенного в движение бронезлемента.

Из рассмотрения механизма бронепробития следует, что волновые процессы в твердых телах при высокоскоростном взаимодействии вовлекают в работу материал защиты, принимающей и диссипирующей (рассеивающей) часть кинетической энергии ударника.

Аналогичным образом и тело человека может включаться в диссипацию кинетической энергии. Таким образом, с позиции здоровья и жизни сотрудника (военнослужащего) необходимо надежно экранировать бронезащиту от человеческого тела. Своеобразными экранами здесь служат демпфирующие слои, размещенные между броней и телом человека. В качестве демпфирующего слоя используют пористые материалы с низкой плотностью [3].

Другой аспект проблемы связан с локализованным по оси соударения движением тыльной поверхности основной брони в процессе высокоскоростного взаимодействия. Движение тыльной поверхности характеризуется значительным ускорением, определяющим давление на фронте ударной волны.

Тяжесть травмы определяется значением ускорения и продолжительностью ударного импульса. Универсальным средством здесь также являются демпфирующие прокладки из материалов с мягкой характеристикой напряжения – деформации, существенно снижающие амплитуду ударного ускорения перемещения собственной тыльной поверхности, а тем самым – человеческого тела.

И, наконец, сам бронезлемент под ударным воздействием может перемещаться как материальное твердое тело, передавая количество движения частям человеческого организма. Импульс силы бронезлемента определяется его массой и скоростью – m и v . Тогда сила $F(t)$, воздействующая на человеческий орган, определяется из выражения

$$\int_0^{t_k} F(t) dt \approx mv_{cp}, \quad (2)$$

где t_k – продолжительность ударного контакта; v_{cp} – средняя скорость бронезащиты.

Известно, что при непробитии элемента бронезащиты возможна тупая забронева контузионная травма, приводящая к выводу человека из строя, а в отдельных случаях – и к смерти. Наиболее часто наблюдается поражение кожи или мышечной ткани (гематома, разрыв кожи, кровотечение), а в наиболее тяжелых случаях могут наблюдаться переломы ребер и поражение внутренних органов.

Поэтому остановка пули хотя и является основным предназначением бронезащиты, но не может служить единственным критерием оценки его защитных свойств. Механизм возникновения забронева контузионной травмы обусловлен прохождением в тканях, лежащих за бронезащитой, ударного импульса от попадания пули (осколка) с последующим сдвигом тканей вглубь и в стороны по направлению действия импульса и образованием временной полости.

Обычно у пострадавших от забронева контузионной травмы при непробитии бронезащиты обнаруживается повреждение кожи в виде кровоизлияний в подкожно-жировую клетчатку или разрывов кожи в проекции удара пули. Однако даже незначительные наружные проявления забронева контузионной травмы могут сопровождаться серьезными повреждениями внутренних органов. При этом наиболее страдают дыхательная и сердечно-сосудистая системы. Так, при локализации ударного воздействия в проекцию сердца отмечаются серьезные осложнения, вплоть до разрывов и остановки сердца. Другим проявлением контузионного ранения является нарушение сознания, вплоть до длительной его потери.

Критические значения удельной энергии $E_{уд}$ поражающего элемента (ПЭ), необходимой для поражения уязвимой площади различных целей S_y , используемых для оценки эффективности действия поля ПЭ, представлены в табл. 3

Таблица 3. Характеристика уязвимости

Параметры	ОЖС			ЖСБ		
	лежа	сидя	стоя	лежа	сидя	стоя
Уязвимая площадь цели $S_y, м^2$	0,23	0,35	0,5	0,23	0,35	0,5
Удельная энергия поражения $E_{уд}, МДж/м^2$	1,0	1,0	1,0	7,4	7,4	7,4

Примечание: ОЖС – открыто расположенная живая сила; ЖСБ – живая сила в бронезащитах.

Для оценки действия по живой силе используются неметаллические эквивалентные преграды, в том числе сухая сосновая доска толщиной 1 дюйм (25,4 мм), стандартная пластилиновая модель НАТО толщиной 180 мм и т. п.

При оценке действия осколков наряду с расчетом пробиваемых толщин (стальных или дюралевых эк-

вивалентов объектов) широко используется также критериальный подход. Согласно этой концепции поражение объекта достигается при выполнении условия $K \geq K_{кр}$, где $K = f(m, v, S \dots)$ – некоторая физическая величина или комбинация параметров ударника; m – масса осколка; v – скорость осколка; S – площадь мишени осколка; $K_{кр}$ – эмпирический параметр цели. В качестве величины K наиболее широко используется кинетическая энергия осколка W_0 , удельная кинетическая энергия $E_{уд} = \frac{W_0}{S}$ и удельный импульс $i_{уд} = \frac{I_0}{S}$.

Критериальные оценки наиболее целесообразно использовать в тех случаях, когда поражение объекта нельзя свести к простому пробитию преграды, например, в случаях физически сложных комбинаций. Важным преимуществом критериального подхода является возможность построения вероятностно-статистических моделей поражения объектов, задаваемых как правило, функциями.

В табл. 4 приведены вышеперечисленные критерии $W_{кр}$ и $E_{кр}^{уд}$ при действии по живой силе.

Таблица 4. Критерии поражения целей

Критерий	Предельное условие	ОЖС	ЖСБ
Полная кинетическая энергия, Дж	$\frac{mv^2}{2} = W_{кр}$	100	300...1000
Удельная энергия, Дж/мм ²	$\frac{mv^2}{2S} = E_{кр}^{уд}$	1	3...10
Удельный импульс, кПа · с	$\frac{mv}{S} = i_{кр}$	5	–

Для оценки противоосколочной стойкости СИЗ в отечественной практике используется шарик диаметром 6,3 мм (массой 1 г). В зарубежной практике испытания СИЗ проводятся по стандарту НАТО STANAG 2920.

Не менее опасным чем осколки поражающим фактором при взрыве является воздействие на человека воздушной ударной волны (ВУВ).

По некоторым источникам, положительное влияние индивидуальной бронезащиты на тяжесть контузионной травмы объясняется экранированием и демпфированием ВУВ по наиболее чувствительному органу (легким).

Действие импульса можно рассматривать как время действия ускорения. При сообщении организму кинетической энергии и импульса (при отсутствии внешних морфологических изменений – локальных повреждений тканей, переломов костей и пр.) в живом организме начинают действовать ускорения.

Для определения характеристик поражающего действия ударной волны широко используются следующие зависимости, полученные экспериментально-расчетным путем Садовским с использованием методов подобия и размерности [4]:

$$\Delta p_1 = a \frac{(k_t \omega_3)^{1/3}}{R} + b \frac{(k_t \omega_3)^{2/3}}{R^2} + c \frac{k_t \omega_3}{R^3}; \quad (3)$$

$$I_1 = A \frac{\omega_3^{2/3}}{R},$$

где Δp_1 – величина избыточного давления ударной волны, Па; I_1 – удельный импульс ударной волны, Па · с; a, b, c – постоянные коэффициенты; ω_3 – эквивалентная масса снаряжения боеприпаса, кг; k_t – коэффициент тротилового эквивалента; A – коэффициент, зависящий от относительной высоты подрыва боеприпаса.

При взрывах человека можно рассматривать как единый объект и в качестве критерия поражения использовать критическое давление в УВ Δp^* или удельный импульс УВ I^* . Значения давления в зависимости от вероятности летального исхода приведены в табл. 5.

Таблица 5. Критическое давление поражения человека ударной волной

Вероятность летального исхода	0,99	0,75	0,50	0,25	0,10
Δp^* , кПа	500	370	320	280	250

При этом существенное влияние оказывает ориентация человека относительно падающей волны и окружающих объектов. Наибольшие повреждения при минимальных значениях давления и импульса приходящей УВ получает человек, который стоит или лежит вблизи плоской отражающей поверхно-

сти, по нормали к которой набегают взрывная волна. В США получены $\Delta p_m - I$ предельные диаграммы для различных степеней поражения органов дыхания человека в положении стоя с расположением тела вдоль фронта подходящей ударной волны. Проведенные исследования показали, что результаты воздействия ударной волны зависят от начального окружающего давления p_0 , а при импульсном нагружении – и от массы человека M [5].

Увеличение длительности фазы сжатия примерно до 10^{-1} с приводит к существенному снижению избыточного давления, необходимого для поражения ЖС. Уменьшение длительности фазы сжатия до 10^{-3} с требует повышения избыточного давления для достижения той же степени поражения ЖС, а при длительности фазы сжатия УВ менее $2 \cdot 10^{-3}$ с поражение ЖС определяется величиной удельного импульса УВ. Летальный исход в этом случае наступает при значениях $I^* \geq 900$ Па · с [4].

Библиографические ссылки

1. Средства поражения и боеприпасы : учебник / А. В. Бабкин, В. А. Велданов, Е. Ф. Грязнов [и др.] ; под общ. ред. В. В. Селиванова. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2008.
2. Козлов В. В., Погудин А. Л., Лунев А. Н. Устройство и применение боеприпасов. – Пермь : Стиль-МГ, 2004.
3. Там же.
4. Анализ защитных свойств элементов современных бронезилетов при воздействии поражающих элементов : отчет о НИР. – Пермь : ПВИ ВВ МВД, 2007.
5. Взрывные явления. Оценка и последствия / W. E. Baker [и др.]. – М., Мир, 1986.
6. Там же.

Получено 05.05.2016

УДК 623.454

В. В. Козлов, доктор технических наук, профессор, Черноморское высшее военное морское училище имени П. С. Нахимова, Севастополь

В. Г. Шереметьев, Пермский военный институт внутренних войск МВД России

А. В. Васильев, Черноморское высшее военное морское училище имени П. С. Нахимова, Севастополь

Д. Л. Голубцов, Черноморское высшее военное морское училище имени П. С. Нахимова, Севастополь

МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ И КЛАСТЕРНЫЙ АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК УЯЗВИМОСТИ ОБРАЗЦОВ ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ФИЗИЧЕСКИ РАЗНОРОДНЫХ ПОРАЖАЮЩИХ ФАКТОРОВ

Поражающее действие средств поражения определяется типом, калибром и их конструктивными характеристиками, типом цели, характеристиками ее уязвимости и условиями боевого применения.

Назначение средства поражения определяется в основном классом целей, для борьбы с которыми оно используется.

Мерой эффективности использования средств поражения может служить степень достижения ими желаемого действия. Однако до начала практического боевого использования средств поражения эта мера должна рассматриваться в основном как теоретическая.

Но теоретически трудно оценить количественные значения различных степеней поражения, которые могут быть нанесены противнику [1].