

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОПРОСА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГРУППОВОЙ ВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТИ БОЕПРИПАСОВ ПРИ ХРАНЕНИИ

М. В. Пучков, кандидат технич. наук, Р. А. Сидей

ВА РВСН им. Петра Великого

При хранении боеприпасов (БП) необходимо обеспечить заданные условия, которые позволят сохранить требуемые характеристики боеприпасов и обеспечить их постоянную готовность к применению. Хранение характеризуется компактным размещением БП на сравнительно небольшой площади, вследствие чего не исключается вероятность группового взрыва БП в результате возможных нерегламентированных воздействий на БП факторов физической природы, ошибочных действий персонала, террористического акта и т.д., поэтому исследованию вопросов обеспечения безопасности при хранении БП необходимо уделять самое пристальное внимание. При этом основной акцент должен быть сделан на обеспечении групповой взрывобезопасности (ГВБ), как одним из важных свойств БП, снижающем либо исключаящем возможность проявления опасности при взрыве группы БП.

Для того, чтобы определить, какую опасность несёт взрыв одного из БП при размещении их в группе, необходимо следующее.

Во-первых, чтобы охарактеризовать действие взрыва аварийного БП на окружающие объекты необходимо определить поле взрыва – установить количественные и качественные характеристики, определяющие способность взрыва к разрушению для каждой точки окружающего пространства.

Во-вторых, необходимо принять соответствующие допущения, которые позволят оценить разрушительное действие аварийного взрыва одного БП.

Например:

группа БП находится в хранилище, расстояния между БП ограничены геометрическими размерами хранилища;

БП представляет собой многослойную конструкцию, состоящую из нескольких силовых оболочек различной толщины и плотности материала (корпус контейнер, корпус БП, корпус заряда бризантного взрывчатого вещества (БВВ), защитный экран между контейнером и корпусом БП);

основной компонент заряда БВВ – октоген;

мощность аварийного взрыва БП эквивалентна взрыву 20 и 80 кг тротила;

не менее одного осколка попадает в соседний БП под углом 90 градусов к оси данного БП;

осколки представляют собой откольную часть контейнера БП в форме параллелограмма с гранями 10 и 30 мм, толщина которых равна толщине стенки контейнера, при этом осколки находятся в двух массовых группах – соответственно 2 г и 21 г ($m = \rho \cdot V$).

В-третьих, необходимо выбрать математический аппарат, позволяющий оценить поражающее действие аварийного взрыва БП.

В зависимости от интенсивности действия продуктов детонации и воздушной ударной волны (ВУВ) в соответствии с [4] условно различают три зоны разрушительного действия взрыва: зону действия продуктов детонации (зону бризантного действия); зону совместного действия продуктов детонации и ударной волны; зону фугасного действия, в которой определяющим будет являться разрушительное действие

ВУВ, избыточное давление во фронте которой определяется по формуле:

$$\Delta P_{\text{ВУВ}} = \frac{M_{\text{Э}}^{\frac{1}{3}}}{r} + b \cdot \frac{M_{\text{Э}}^{\frac{2}{3}}}{r^2} + c \cdot \frac{M_{\text{Э}}}{r^3} \cdot 10^5, \text{ Па} \quad (1)$$

где $M_{\text{Э}}$ – эквивалентная масса БВВ, кг; a , b , c – константы, зависящие от вида взрыва, мощности ВВ, диапазона давлений; получены экспериментально;
 r – расстояние от центра взрыва до объекта, м.

Оценка поражающего действия ударной волны взрыва БВВ БП сводится к расчёту максимального избыточного давления во фронте ВУВ, распространяющейся в хранилище, как функции от расстояния ($\Delta P_{\text{ВУВ}}$), и сравнении этой величины со значением $\Delta P_{\text{крит}}$, определяющим стойкость БВВ к действию ВУВ.

При распространении ВУВ в движение вовлекается масса сжатого волной воздуха. При встрече ударной волны с преградой происходит резкое торможение движущихся масс воздуха, в результате чего на преграду будет действовать и давление сжатого во фронте ВУВ воздуха, и давление, обусловленное скоростным напором воздуха. Так как давление на преграду больше давления в набегающей ударной волне, то возникающий перепад давления (отраженная волна) начнет самостоятельно распространяться в воздухе, сжатом фронтом волны. Таким образом, максимальная величина из-

быточного давления ΔP_2 , действующего на БП, определяется по формуле [1]:

$$\Delta P_2 = \frac{M_{\text{Э}}^{\frac{1}{3}}}{r} + b \cdot \frac{M_{\text{Э}}^{\frac{2}{3}}}{r^2} + c \cdot \frac{M_{\text{Э}}}{r^3} \cdot 10^5, \text{ Па} \quad (2)$$

Для полной и всесторонней оценки фугасного действия взорвавшегося боеприпаса на остальные БП необходимо знать $\Delta P_{\text{крит}}$.

Проведенный анализ позволил в качестве критерия групповой взрывобезопасности принять давление во фронте ВУВ, необходимое для инициирования заряда БВВ соседних БП:

$$\Delta P_{\text{ВУВ}} \geq \Delta P_{\text{крит}}, \text{ Па} \quad (3)$$

Для октогена значение избыточного давления во фронте ВУВ, повышающее взрывоопасность до критического значения, $\Delta P_{\text{крит}} = 0,25 \dots 11,5$ ГПа [2]:

$$\Delta P_{\text{крит}} \geq (0,25 \dots 11,5) \cdot 10^5, \text{ ГПа}.$$

В табл. 1 представлены результаты расчёта ΔP_2 для зарядов БВВ с энергией аварийного взрыва, эквивалентной 20 и 80 кг тротила в зависимости от расстояния до центра взрыва, на основании чего можно сделать заключение о том, что фугасное действие взрыва таких зарядов может привести к взрыву других БП, находящихся вместе с ними в закрытом хранилище при несоблюдении требований по расстоянию между БП.

Из анализа полученных результатов видно (см. табл. 1), что при аварийном взрыве заряда БВВ массой, эквивалентной

Таблица 1

Результаты расчётов давления во фронте ВУВ при аварийном взрыве БВВ БП

$m_{\text{з}}, \text{ кг}$	$r, \text{ м}$	$\Delta P_2, \text{ ГПа}$	$m_{\text{з}}, \text{ кг}$	$r, \text{ м}$	$\Delta P_2, \text{ ГПа}$
20	0,5	1,6	80	0,5	6,5
20	1	0,22	80	1	0,84
20	1,5	0,06	80	1,5	0,25
20	2	0,03	80	2	0,11
20	2,5	0,016	80	2,5	0,06

20 и 80 кг тротила, безопасное расстояние для соседних БП, по известному критерию для октогена, начинается с 1 м и 2 м соответственно. Для БП, расположенных на меньших расстояниях, вероятность инициирования от воздействия ВВ близка к единице.

Проведенные исследования показали, что аварийный взрыв заряда БП приводит к его разрушению и образованию большого количества осколков, способных поражать личный состав и объекты, находящиеся вблизи места аварии. Формирующееся при этом осколочное поле имеет большую неравномерность по углу вылета и скоростям осколков. Спектр масс осколков довольно широк – от мелкой пыли до осколков весом в сотни грамм, которые, хотя и обладают меньшей начальной скоростью, могут разлетаться на значительные расстояния. В начальный момент времени после взрыва БВВ продукты детонации и ВУВ движутся с существенно большей скоростью, чем осколки корпуса. Однако, начиная с некоторого расстояния, осколки обгоняют фронт ВУВ. Это расстояние можно определить путем вычисления скоростей фронта ВУВ – $\mathcal{G}_{\text{ВВ}}$ и осколков – \mathcal{G} :

$$\mathcal{G}_{\text{ВВ}} = 340 \cdot \sqrt{1 + 0,83\Delta P_{\phi}}, \text{ м/с} \quad (4)$$

$$\mathcal{G} = \mathcal{G}_0 \cdot e^{-C_H \cdot R}, \text{ м/с} \quad (5)$$

где \mathcal{G}_0 – начальная скорость осколка, м/с; C_H – баллистический коэффициент осколка, определяемый по формуле:

$$C_H = \frac{C_x \cdot S_{\text{ПЭ}} \cdot \rho_B}{2 \cdot V_{\text{ПЭ}} \cdot \rho_{\text{ПЭ}}} \quad (6)$$

где C_x – коэффициент лобового сопротивления осколка; $S_{\text{ПЭ}}$ – площадь миделя осколка; $V_{\text{ПЭ}}$ – объем осколка; ρ_B , $\rho_{\text{ПЭ}}$ – плотность воздуха и материала осколка соответственно.

Начальная скорость осколков может быть рассчитана по формуле [3]:

$$\mathcal{G}_0 = k \cdot D \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot B}{3 + B}}, \text{ м/с} \quad (7)$$

где k – коэффициент, учитывающий долю энергии взрыва, затраченную на образование и метание осколков, принимается $k = 0,3 \dots 0,8$; B – коэффициент, определяющий отношение массы заряда БВВ к массе оболочек, окружающих заряд ($B = 0,16 \dots 0,125$); D – скорость детонации БВВ, м/с.

Для БВВ с основным составляющим веществом октогеном начальная скорость осколков получена расчётным путём по зависимости (7) и имеет значение $\mathcal{G}_0 = 2731 \text{ м/с}$.

Рассчитанные значения $\mathcal{G}_{\text{ВВ}}$ и \mathcal{G} (для осколка массой 2 г) представлены в табл. 2 и позволяют сделать вывод о том, что в зависимости от начальной скорости осколки обгоняют фронт ВУВ на расстояниях от центра взрыва, превышающих 4,3 м. Т.е., для боеприпасов, расположенных на $R > 4,3$ м, первоначальным поражающим воздействием будет являться осколочное.

Таблица 2

Результаты расчётов параметров осколков

R , м	$\mathcal{G}_{\text{ВВ}}$, м/с	\mathcal{G} , м/с
2	6532	2602
2,5	4824	2571
3	3789	2540
3,5	3106	2509
4	2627	2479
4,1	2548	2473
4,2	2474	2467
4,3	2404	2461
4,4	2338	2455
4,5	2275	2449
4,6	2216	2443

Основным параметром, определяющим поражающее действие осколков, является их допреградная скорость. При этом безопасность БП при воздействии по ним осколков может оцениваться путем вычисления запреградной скорости, \mathcal{G}_U , поражающих элементов.

Исследования свойств БВ показывают, что взрывчатые превращения с наибольшим выходом энергии в заряде БВВ происходят в случае, если скорость внедряющегося осколка превышает 1000 м/с [4]. Это возможно в том случае, когда осколок пробьет оболочки, защищающие заряд БВВ (корпус контейнера, корпус БП и т. д.) и сохранит указанную скорость.

Для определения \mathcal{G}_U может быть использована формула:

$$\mathcal{G}_u = k_{\mathcal{E}} \cdot \sqrt{\frac{\mathcal{G}^2}{(1+h)} - 3,35 \frac{\sigma_{0,2} \cdot H_{np} \cdot (1+0,75h)}{d_{n3} \cdot \rho_{n3} \cdot (1+h)^2} - 2,82 \frac{\sigma_{0,2} \cdot H_{np}^2}{d_{n3}^2 \cdot \rho_{n3} \cdot (1+h)}}$$

где $h = 1,5 \cdot \left(\frac{H_{np}}{d_{n3}}\right) \cdot \left(\frac{\rho_{np}}{\rho_{n3}}\right)$ – безразмерная

приведенная толщина преграды; $k_{\mathcal{E}}$ – коэффициент эквивалентности, учитывающий пробивную способность, принимают для осколков $k_{\mathcal{E}} = 1$; H_{np} – толщина преграды, м; d_{n3} – диаметр осколка, м; $\sigma_{0,2}$ – предел текучести материала преграды; \mathcal{G} – скорость осколка до преграды; ρ_{np} , ρ_{n3} – плотности материалов преграды и осколков соответственно.

В случае многослойной преграды запреградная скорость осколка после пробития первой преграды в расчетах принимается в качестве допреградной скорости для определения \mathcal{G}_U после пробития второй преграды и т. д.

Результаты проведенных исследований по определению параметров осколков различных массовых групп при пробитии оболочек, окружающих заряд БВВ, представлены в табл. 3...6.

Таблица 3

Результаты исследования способности осколков ($m = 2$ г, $\mathcal{G}_0 = 2731$ м/с) на пробитие 3 оболочек, защищающих БВВ

R, м	1	5	10	15
\mathcal{G} , м/с	2661	2398	2105	1849
$\mathcal{G}_{\text{конт}}$, м/с	2172	1949	1700	1480
$\mathcal{G}_{\text{корп}}$, м/с	1840	1649	1351	1243
$\mathcal{G}_{\text{корп бз}}$, м/с	1472	1306	1043	946

Таблица 4

Результаты исследования способности осколков ($m = 21$ г, $\mathcal{G}_0 = 2731$ м/с) на пробитие 3 оболочек, защищающих БВВ

R, м	1	5	10	15	20	25	30
\mathcal{G} , м/с	2661	2398	2088	1826	1597	1397	1221
$\mathcal{G}_{\text{конт}}$, м/с	2469	2213	1931	1684	1468	1278	1110
$\mathcal{G}_{\text{корп}}$, м/с	2325	2083	1817	1583	1379	1199	1039
$\mathcal{G}_{\text{корп бз}}$, м/с	2154	1926	1675	1454	1261	1089	935

Таблица 5

Результаты исследования способности осколков ($m = 2$ г, $\mathcal{G}_0 = 2731$ м/с) на пробитие 4 оболочек, защищающих БВВ

R, м	1	5
\mathcal{G} , м/с	2661	2398
$\mathcal{G}_{\text{защ}}$, м/с	2172	1949
$\mathcal{G}_{\text{конт}}$, м/с	1945	1382
$\mathcal{G}_{\text{корп}}$, м/с	1645	1158
$\mathcal{G}_{\text{корп бз}}$, м/с	1303	868

Результаты исследования способности осколков ($m = 21$ г, $v_0 = 2731$ м/с)
на пробитие 4 оболочек, защищающих БВВ

R, м	1	5	10	15	20	25
v , м/с	2661	2398	2088	1826	1597	1397
$v_{защ}$, м/с	2469	2222	1931	1684	1468	1278
$v_{конт}$, м/с	2186	1962	1698	1472	1274	1098
$v_{корп}$, м/с	2058	1846	1596	1382	1195	929
$v_{корп бз}$, м/с	1903	1703	1467	1264	1085	828

2. Исходя из данных табл. 3 и 4, обеспечить ГВБ БП (по показателю – запреградная скорость осколков) невозможно вследствие ограниченных размеров хранилищ.

3. Путем увеличения количества оболочек, окружающих заряд БВВ (см. табл. 5, 6), можно уменьшить безопасное расстояние между БП при размещении их в группе (до десяти метров).

Таким образом задача обеспечения безопасности при размещении БП в группе является актуальной. В качестве основных направлений решения данной задачи необходимо выделить: применение новых защитных материалов в составе самих БП и (или) контейнеров; поиск оптимальных схем размещения БП в хранилище, обеспечиваю

щих сведение к минимуму числа осколков, попадающих в БП; разработка новых конструкций хранилищ, позволяющих

изменять положение БП при воздействии ВУВ, тем самым уменьшая поражаемую часть площади корпуса БП.

Список литературы

1. Ильин В. В., Козлов В. В., Севрюков И. Т. Развитие теории анализа аварийной ситуации при хранении взрывчатых веществ: монография. Пермь, 2012. 187 с.
2. Загарских В. И. Взрывчатые вещества и средства автоматики. ч. 2. М., 2011. 172 с.
3. Бородин Р. В. Сборник задач по основам обеспечения безопасности БП. М., 2003. 151 с.
4. Зеленкин В. Г., Боровик С. И., Бабкин М. Ю. Теория горения и взрыва. Конспект лекций. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2011. 166 с.