

УДК 623.4

doi: 10.53816/20753608_2025_2_141

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
РАБОТОСПОСОБНОСТИ ПРОТИВООСКОЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ**
**EXPERIMENTAL AND THEORETICAL STUDY OF THE PERFORMANCE
OF ANTI-SHATTERING PRODUCTS**

По представлению чл.-корр. РАН Н.М. Сильникова

А.С. Пучков, И.В. Гук, А.И. Спивак, С.Н. Васильева

НПО Спецматериалов

A.S. Puchkov, I.V. Guk, A.I. Spivak, S.N. Vasileva

Установлено, что мотивированное решение о возможности размещения противоосколочного экрана должно приниматься отдельно для каждой модификации устройства для защиты от взрыва в зависимости от кинетических параметров осколочного потока и спутного потока газов, характерных для подрыва зарядов взрывчатого вещества нормативной массы, содержащих поражающие элементы.

Ключевые слова: Устройство для защиты от взрыва, воздушная ударная волна, избыточное давление во фронте воздушной ударной волны, спутный поток газов, осколочное поле.

It is shown that a reasoned decision on the possibility of placing an anti-fragmentation screen should be made separately for each modification of an explosion protection device depending on the kinetic parameters of the fragmentation flow and the associated gas flow characteristic of the detonation of explosive charges of standard mass containing damaging elements.

Keywords: Explosion protection device, air shock wave, excess pressure in the air shock wave front, cocurrent gas flow, fragmentation field.

При планировании и проведении работ по обнаружению и уничтожению взрывоопасных предметов (ВОП) в процессе ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций на арсеналах (базах) хранения боеприпасов и при гуманитарной очистке (разминировании) местности одними из основных задач являются: обеспечение безопасности персонала, минимизация разрушений за счет локализации фугасного действия и осколочных полей, возникающих при разрывах ВОП.

При организации работ по очистке местности от ВОП [1] подготовленными специалистами

по их обнаружению [2] и нейтрализации с использованием специализированной техники [3] большое значение имеет использование мобильных устройств для защиты от взрыва (УЗВ).

Для локализации последствий взрыва ВОП, содержащих заряды взрывчатых веществ (ВВ) широкое применение получили УЗВ «Фонтан» различных моделей контейнерного и мобильного типа, разработки и производства АО «НПО Спецматериалов», которые подтвердили свои высокие защитные свойства при локализации оболочечных, безоболочечных, усиленных

зарядов взрывчатого, в том числе под водой и направленного действия [4–9].

УЗВ «Фонтан» снижают до минимума человеческие жертвы и разрушения за счет эффективного подавления фугасного, осколочного, термического и термобарического действия взрывов. Они многократно снижают амплитуду избыточного давления во фронте воздушной ударной волны (ВУВ), размывают и выстилают фронт ВУВ, предотвращают возгорания, термическое и термобарическое поражения за счет уникальных амплитудно-частотных и релаксационных характеристик специального многофазного диспергента, являющегося основной рабочей средой изделия [5].

Однако конструкция УЗК в штатной комплектации не всегда способна уменьшить кинетическую энергию до безопасного уровня поражающих элементов (ПЭ), образующихся при подрыве ВОП, находящихся в УЗК. Так, конструкции УЗК «Фонтан-1» модели 05К и «Фонтан-2» модели 05У при подрыве в них ручных гранат типа РГО обеспечивают только снижение на расстоянии 2 м количества ПЭ на 80 %, а не полностью их ликвидируют [5].

В связи с этим, одним из направлений совершенствования конструкций УЗК является включение в их состав специальных противоосколочных экранов различных конструкций, способных эффективно подавлять осколочные потоки ПЭ, образующихся при подрыве ВОП, размещенных в УЗВ [5].

При разработке противоосколочных экранов в составе УЗВ необходимо рассмотреть поражающие факторы в ближней зоне взрыва, за исключением бризантного и термического воздействия.

Взрыв представляет собой экзотермическую химическую реакцию с превращением ВВ во взрывные газы, характеризующиеся высоким давлением и высокой температурой [10]. Часть энергии образовавшихся газов разрушает оболочку ВОП, в которую заключен заряд ВВ, и передает разлетающимся ПЭ высокую кинетическую энергию. Другая часть энергии газов превращается в тепло в виде расширяющегося огненного шара, а также в звук, световое и тепловое излучение. Оставшаяся часть энергии (до 40 %) за счет быстрого расширения образовавшихся газов формирует ударную волну (УВ).

Быстро расширяющиеся при взрыве газы вытесняют окружающий воздух в стороны, сжимая его. Плотный слой сжатого воздуха распространяется от источника взрыва в форме шара или полусферы, образуя воздушную ударную волну (ВУВ). Передняя граница зоны сжатия носит название фронта УВ и характеризуется чрезвычайно высокими значениями избыточного давления. Вслед за фазой сжатия (фаза положительного давления) следует фаза разрежения, в которой давление ниже атмосферного (отрицательная фаза).

Любая поверхность, обращенная в сторону взрыва, подвергается воздействию не только фронта избыточного ударного давления, но и давления, оказываемого массой воздуха, распространяющегося с высокой скоростью сразу же за ним (спутный поток УВ). Рядом с местом взрыва это давление воздуха может быть таким же высоким, как и давление фронта ВУВ, быстро снижаясь по мере удаления. Это динамическое избыточное давление производит повреждающее действие и обладает метательным эффектом. Течение газа за УВ представляет сложную структуру, состоящую из спутного потока газов, движущегося со сверхзвуковой скоростью на начальном этапе, а позже непрерывно замедляющегося [10]. С ростом интенсивности УВ скорость спутного потока возрастает и при большой интенсивности эта скорость пропорциональна квадратному корню из сжатия $(p_2/p_1)^{0,5}$, где p_2 — давление, устанавливаемое УВ, p_1 — давление в газе до прихода УВ.

В результате обработки экспериментальных данных [10] получены статистические модели зависимости скорости спутного потока газа за УВ $V_{сп}$ от скорости УВ в невозмущенном покое газе $V_{ВУВ}$ с использованием метода наименьших квадратов. Было рассмотрено несколько видов функций $y = f(x, a, b, \dots)$ и выбрана функция, для которой суммарная погрешность $\sum_{i=1}^n [f(x_i, a, b, \dots) - y_i]^2$ оказалась минимальной.

Вид статистической модели зависимости скорости спутного потока газа за УВ $V_{сп}$ от скорости УВ в невозмущенном покое газе $V_{ВУВ}$ представлен в табл. 1.

Вид зависимости скорости спутного потока газа за УВ $V_{сп}$ от скорости УВ в невозмущенном покое газе $V_{ВУВ}$ представлен на рис. 1.

Таблица 1

Вид статистической модели зависимости скорости спутного потока газа за УВ V_{cn} от скорости УВ в невозмущенном покое газе $V_{вув}$

Вид статистической модели	Коэффициенты модели		Среднее отклонение, %	Средне-квадратическое отклонение	Коэффициент корреляции
	a	b			
$Y = a \exp(b/x)$	3090,425	-1372,814	7	0,077	0,997

Примечание — область определения аргумента от 340 до 1925 м/с

Анализ результатов, представленных в табл. 1 и на рис. 1, показывает, что в ближней зоне от взрыва скорость спутного потока газов соизмерима с потенциальной скоростью ПЭ в осколочном потоке. В связи с этим обстоятельством при проектировании противоосколочных экранов в составе УЗВ и оценке их работоспособности необходимо учитывать особенности распространения спутного потока газов и ПЭ в осколочном потоке, образующихся при подрыве ВОП, размещенного внутри УЗВ. При скорости спутного потока газов, превышающей скорость ПЭ в осколочном потоке, велика вероятность разрушения корпуса УЗВ с размещенным на нем противоосколочным экраном спутным потоком газа, в результате чего ПЭ, обладающие меньшей скоростью, не могут быть задержаны ни разрушенным корпусом УЗВ, ни разрушенным противоосколочным экраном. В противном случае, когда скорость ПЭ превышает скорость спутного потока газа, ПЭ, взаимодействуя с корпусом УЗВ, частично нарушают его целостность и могут быть задержаны как корпусом УЗВ, так и дополнительным противоосколочным экраном, размещаемым за корпусом УЗВ. Следующий за осколочным потоком спутный поток

газов эффективно диссипирует энергию взрыва за счет разлета диспергента, содержащегося в УЗВ.

В связи с этими обстоятельствами, для проектирования противоосколочных экранов для конкретных конструкций УЗВ, предназначенных для локализации нормативных зарядов ВВ, содержащих ПЭ, был разработан методический аппарат экспериментально-теоретических исследований для оценки целесообразности и эффективности использования противоосколочных экранов в комплекте с УЗВ.

Проиллюстрируем содержание и реализацию методического аппарата на примере проектирования противоосколочного экрана для УЗВ «Фонтан-2» модели 20У при подрыве в нем ВОП, содержащего заряд ПВВ-4 массой 1,5 кг и готовые поражающие элементы (ГПЭ) в виде стальных шариков массой 1,05 г.

Характеристики УЗВ «Фонтан-2» модели 20У представлены в табл. 2 [5].

Пластичное ВВ ПВВ-4 состоит из гексогена ($80 \pm 2\%$) и связующего ($20 \pm 2\%$), представляющего смесь 3 частей веретенного масла и 1 части стеарата кальция. Характеристики ПВВ-4 представлены в табл. 3 [5].

Вид зарядов ПВВ-4 со стальными шариками массой 1,05 г представлен на рис. 2.

Экспериментально-теоретические исследования методического аппарата проектирования противоосколочных экранов в составе УЗВ состоят из следующих этапов:

1) исследование закономерностей распространения спутного потока газов при подрыве нормированного заряда ВВ в ближней зоне от места подрыва в полигонных условиях;

2) исследование закономерностей распространения ГПЭ в осколочном потоке при подрыве нормированного заряда ВВ в ближней зоне от места подрыва;

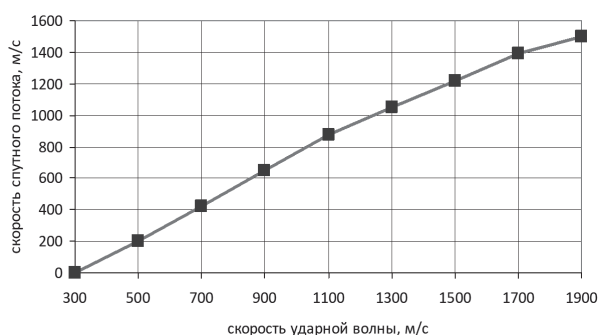


Рис. 1. Зависимости скорости спутного потока газа за УВ от скорости УВ в невозмущенном покое газе

Таблица 2

Характеристики УЗВ «Фонтан-2» модели 20У

Модель изделия	Наружные габаритные размеры, мм	Размеры внутренней полости, мм	Внутренний объем, не более, куб. дм	Масса не более, кг	Масса локализуемого заряда в ТЭ*, кг
«Фонтан-2» 20У	780×780×480	520×520×340	90	50	2,0

*ТЭ — тротиловый эквивалент

Таблица 3

Характеристики ПБВ-4

№ п/п	Наименование	Величина
1	Плотность, г/см ³	1,42
2	Скорость детонации, м/с	7000
3	Теплота взрыва, ккал/кг	910
4	Объем продуктов взрыва, л/кг	850
5	Бризантность, мм	21
6	Фугасность, мл	280
7	Тротиловый эквивалент	1,3



Рис. 2. Вид зарядов из ПБВ-4 с ГПЭ перед испытаниями

3) сравнение скоростей спутного потока газов и ГПЭ в осколочном потоке при подрыве нормированного заряда ВВ в ближней зоне от места подрыва;

4) принятие предварительного решения о целесообразности разработки противоосколочного экрана в составе УЗВ;

5) экспериментальное обоснование целесообразности разработки противоосколочного экрана в составе УЗВ с использованием специализированного стендового оборудования в полигонных условиях;

6) экспериментальная проверка избыточного давления во фронте ВУВ при подрыве нормированного заряда ВВ, содержащего ГПЭ, размещенного в УЗВ с противоосколочным экраном;

7) принятие мотивированного решения целесообразности разработки и эффективности противоосколочного экрана в составе УЗВ.

В ходе реализации этапа 1 экспериментально-теоретических исследований была проведена серия подрывов, при которых определялось время прихода спутного потока газов к нормативным рубежам, снабженным контактными блокировками, а именно:

– к внешнему контуру УЗВ «Фонтан-2» модели 20У;

– к рубежу на расстоянии 2,0 м снаружи от изделия «Фонтан-2» модели 20У.

Контактные блокировки были изготовлены из проволоки толщиной 0,12 мм.

С использованием полученных результатов были определены скорость прихода спутного потока газов к внешнему контуру УЗВ «Фонтан-2» модели 20У, которая составила 1002 м/с, а также скорость прихода спутного потока на расстояние 2,0 м снаружи от изделия «Фонтан-2» модели 20У, которая составила 292 м/с.

В ходе реализации этапа 2 экспериментально-теоретических исследований была проведена серия подрывов, при которых определялись времена прилета ГПЭ в составе осколочного потока к щитам мишенной обстановки, на которых размещены рамы-мишени.

Оценка скорости ГПЭ производилась методом контактной блокировки участка траектории с использованием рам-мишеней, размещенных на щитах в мишенной обстановке. Запуск измерительной цепи осуществлялся в момент подрыва заряда ВВ.

Схема мишенной обстановки представлена на рис. 3.

В результате экспериментов на расстоянии 2 м от точки взрыва была получена средняя

скорость сферических ГПЭ, которая составила 1562 м/с.

Средняя начальная скорость V_0 ГПЭ любой формы может быть определена при следующих допущениях:

- плотность воздуха вдоль траектории движения ГПЭ постоянна;
- влияние силы тяжести пренебрежимо мало;
- коэффициент лобового сопротивления не зависит от скорости ГПЭ по зависимости [9]

$$V_0 = \frac{V_{\text{изм}}}{e^{\frac{-i_{43} \cdot C_x \cdot \rho_a \cdot S_M \cdot z}{2m}}},$$

где $V_{\text{изм}}$ — измеренная скорость ГПЭ на заданном расстоянии от заряда ВВ;

ρ_a — плотность воздуха при температуре 15 °С и давлении 760 мм рт. ст.;

i_{43} — функция лобового сопротивления по закону 1943 года;

C_x — коэффициент формы по закону 1943 года;

S_M — площадь мишени ГПЭ;

m — масса ГПЭ;

z — расстояние до рамы-мишени от заряда ВВ.

Для ГПЭ сферической формы массой 1,05 г средняя начальная скорость может быть определена по зависимости [9]

$$V_0 = \frac{V_{\text{изм}}}{e^{-0,015 \cdot z}}.$$

В результате расчетов была получена средняя начальная скорость сферических ГПЭ, которая составила 1610 м/с.

В ходе реализации этапа 3 экспериментально-теоретических исследований было проведено сравнение начальных скоростей спутного потока газов и ГПЭ в осколочном потоке при подрыве нормированного заряда ВВ в ближней зоне от места подрыва. Установлено, что начальная скорость ГПЭ в осколочном потоке при подрыве нормированного заряда ВВ массой 2 кг в тротильном эквиваленте в ближней зоне от места подрыва превышает начальную скорость спутного потока газов.

В ходе реализации этапа 4 экспериментально-теоретических исследований принято предварительное решение о целесообразности разработки противоосколочного экрана в составе УЗВ «Фонтан-2» модели 20У.

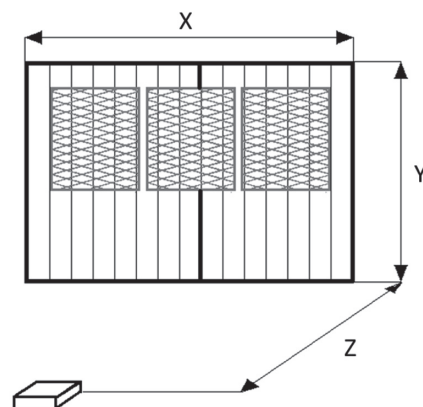


Рис. 3. Схема мишенной обстановки для определения скорости ПЭ с использованием рам-мишеней ГПЭ ($X = 3$ м, $Y = 1,5$ м, $Z = 2$ м)

В ходе реализации этапа 5 экспериментально-теоретических исследований была подтверждена целесообразность разработки противоосколочного экрана в составе УЗВ с использованием специализированного стендового оборудования в полигонных условиях.

Специализированное стендовое оборудование представляет собой конструкцию, состоящую из сварного каркаса, изготовленного из металлического прутка, размеры которого выбираются исходя из геометрических размеров применяемого УЗВ. На металлических прутках, на проушинах, размещаются четыре прямоугольные металлические броне пластины, толщина которых выбирается исходя из гарантированного их непробития ГПЭ, образовавшимися при подрыве заряда ВВ, размещенного в УЗВ.

Толщина броне пластин выбирается исходя из статистической модели зависимости показателя противоосколочной стойкости $V_{50\%}$ защитной структуры, изготовленной из стали СПС-43, от толщины δ защитной структуры, которая имеет вид [11]

$$V_{50\%} = 35,37\delta^2 - 127,92\delta + 420,07.$$

Среднее отклонение статистической модели составляет 52,4 м/с, коэффициент корреляции — 0,992 при области определения аргумента от 2,5 до 6,5 мм.

Анализ статистической модели показывает, что, например, защитная структура, представляющая собой стальную броне панель из стали СПС-43 толщиной 6,5 мм обладает противоосколочной стойкостью $V_{50\%}$ на уровне 1083 м/с.

Для испытаний с использованием УЗВ «Фонтан-2» модели 20У специализированное стендовое оборудование в собранном виде имеет размеры 860×860×500 мм [11].

Вид специализированного стендового оборудования представлен на рис. 4.

Алгоритм размещения в стендовом оборудовании заряда ВВ с ГПЭ, УЗВ «Фонтан-2» модели 20У при подготовке к испытаниям представлен на рис. 5.

При подготовке к испытаниям по периметрам УЗВ «Фонтан-2» модели 20У и стендового оборудования размещается контактная блокировка для определения времени прихода спутного потока газов.

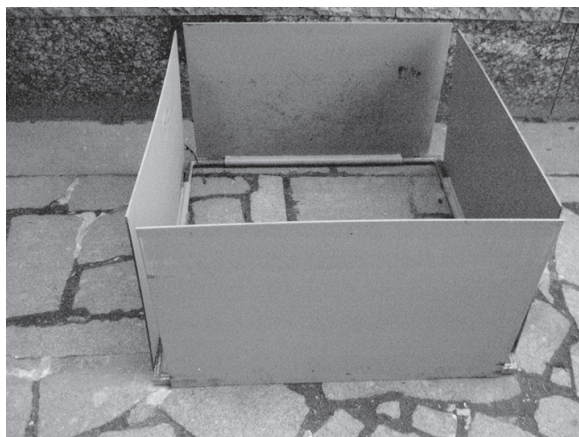


Рис. 4. Вид специализированного стендового оборудования

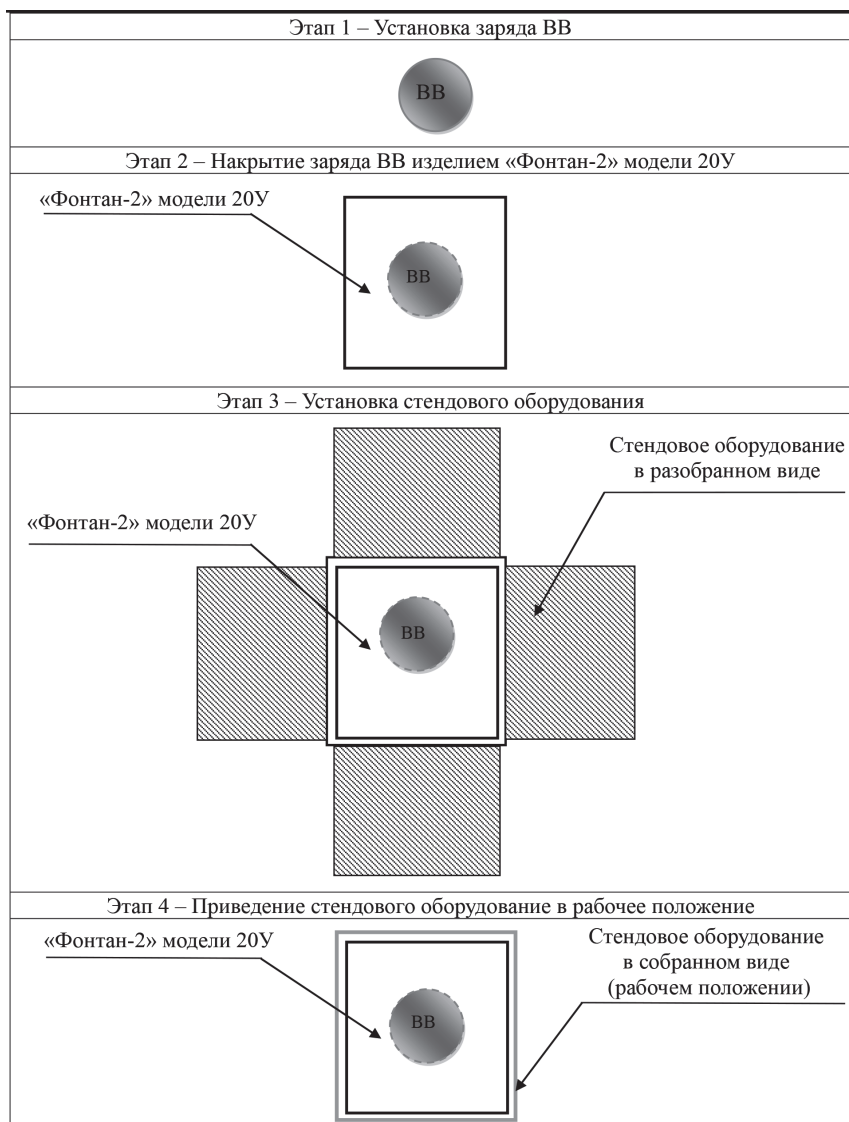
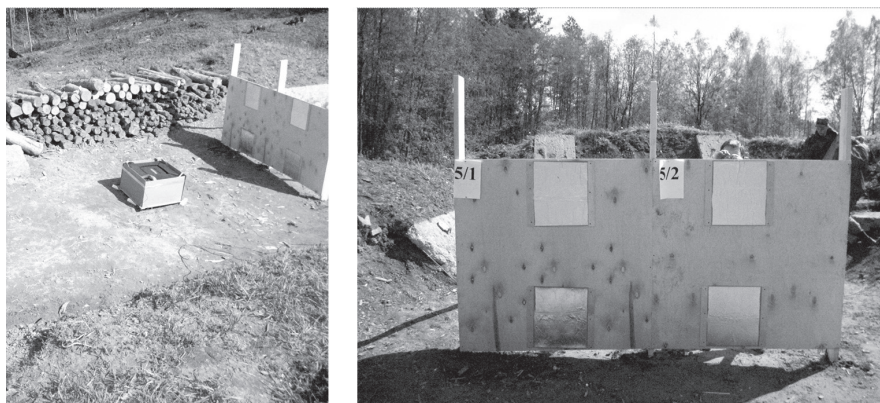


Рис. 5. Алгоритм подготовки к испытаниям опытной лабораторно-испытательной базы по оценке работоспособности противоосколочных экранов в составе УЗВ



а

б

Рис. 6. Вид стендового оборудования в мишенной обстановке (а) и щита-свидетеля с рамами-мишенями (б) перед испытаниями

Прямоугольные бронепластины стендового оборудования способны свободно вращаться на металлическом каркасе за счет проушин, и после прихода спутного потока они из вертикального положения перемещаются в горизонтальное положение. В связи с тем, что противоосколочная стойкость бронепластин превышает кинетические характеристики ГПЭ, образующихся при подрыве заряда ВВ, они должны быть задержаны элементами стендового оборудования, если скорость ГПЭ в осколочном потоке превышает скорость спутного потока газов. Если скорость спутного потока газов превышает скорость осколочного потока, то элементы стендового оборудования за счет воздействия на них спутного потока газов займут горизонтальное положение до попадания в них ГПЭ из осколочного потока.

Как правило, стендовое оборудование размещается в мишенной обстановке с целью возможной регистрации характеристик ГПЭ из осколочного потока, в случае когда бронезащитные элементы стендового оборудования займут горизонтальное положение до прихода к ним осколочного потока.

Вид стендового оборудования в мишенной обстановке перед испытаниями представлен на рис. 6.

В результате проверки установлено, что скорость воздействия спутного потока газов на внешний контур от момента взрыва до момента разрушения изделия «Фонтан-2» модели 20У составила 921 м/с, что соответствует показателю, полученному на этапе 1 исследования.

При этом скорость воздействия спутного потока газов на внешний контур стендового оборудо-

вания от момента взрыва до момента его раскрытия составила 636 м/с.

В результате осмотра бронепластин стендового оборудования было установлено, что в них имеются отпечатки от ГПЭ из состава осколочного потока, образовавшегося при подрыве заряда ВВ, размещенного в УЗВ. При этом в щите мишенной обстановки следов от попадания ГПЭ не обнаружено.

Вид бронепластины стендового оборудования с отпечатками от ГПЭ после испытаний представлен на рис. 7.

В ходе реализации этапа 6 экспериментально-теоретических исследований оценивалась эффективность функционирования УЗВ, оснащенного противоосколочным экраном, по снижению уровня избыточного давления во фронте ВУВ при подрыве в нем нормированного заряда ВВ, содержащего ГПЭ.



Рис. 7. Вид бронепластины стендового оборудования после испытаний

Избыточное давление во фронте ВУВ регистрировалось измерительным комплексом в составе: пьезоэлектрические датчики давления ПД-7-1,5М, цифровой многоканальный осциллограф на базе персонального компьютера и платы сбора информации L-783. Расстояние от датчиков давления до заряда ВВ составляло 3,0; 3,5; 4,0; 4,5 м. Схема установки датчиков давления представлена на рис. 8.

В результате обработки экспериментальных данных, полученных при подрыве заряда ПВВ-4 массой 1,5 кг в УЗВ «Фонтан-2» модели 20У, снабженном противоосколочным экраном, результатов эксперимента по подрыву открытого заряда ТНТ массой 2 кг [11] и нормативных показателей [5], получены стати-

стические модели зависимости избыточного давления во фронте ВУВ от расстояния до точки подрыва с использованием метода наименьших квадратов. Было рассмотрено несколько видов функций $y = f(x, a, b, \dots)$ и выбрана функция, для которой суммарная погрешность $\sum_{i=1}^n [f(x_i, a, b, \dots) - y_i]^2$ оказалась минимальной.

Вид статистических моделей зависимости избыточного давления во фронте ВУВ от расстояния до точки подрыва представлен в табл. 4 и на рис. 9.

Анализ результатов, представленных на рис. 9 и в табл. 4, показывает, что при подрыве заряда ПВВ-4 массой 1,5 кг в УЗВ «Фонтан-2» модели 20У, снабженным противоосколочным

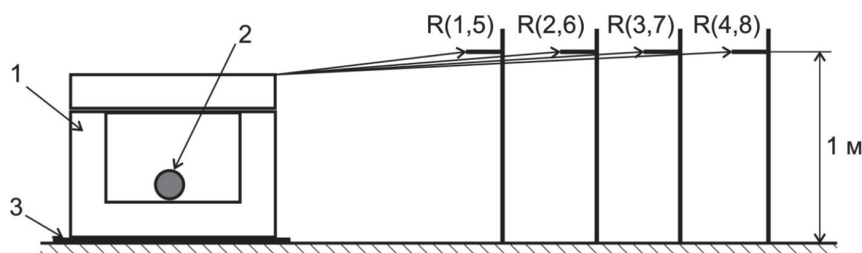


Рис. 8. Схема расположения (вид сбоку) заряда ПВВ-4 (2), УЗВ (1), бронеплиты (3) и датчиков давления

Таблица 4

Вид статистической модели зависимости избыточного давления во фронте ВУВ от расстояния до точки подрыва

№ п/п	Обозначение ВЗУ	Вид статистической модели	Коэффициенты модели		Среднее отклонение, %	Среднеквадратическое отклонение	Коэффициент корреляции
			a	b			
1	Открытый подрыв заряда ТНТ массой 2 кг	$Y = a x^b$	2330,924	- 2,410	4	0,051	0,999
2	Подрыв заряда ПВВ-4 массой 1,5 кг в УЗВ «Фонтан-2» модели 20У, снабженном противоосколочным экраном	$Y = a x_b$	121,116	- 1,644	2	0,030	0,993
3	Подрыв заряда ТНТ массой 2 кг в УЗВ «Фонтан-2» модели 20У	$Y = a b^x$	252,442	0,590	3	0,029	0,999

Примечание — область определения аргумента от 1,5 до 4,5 м

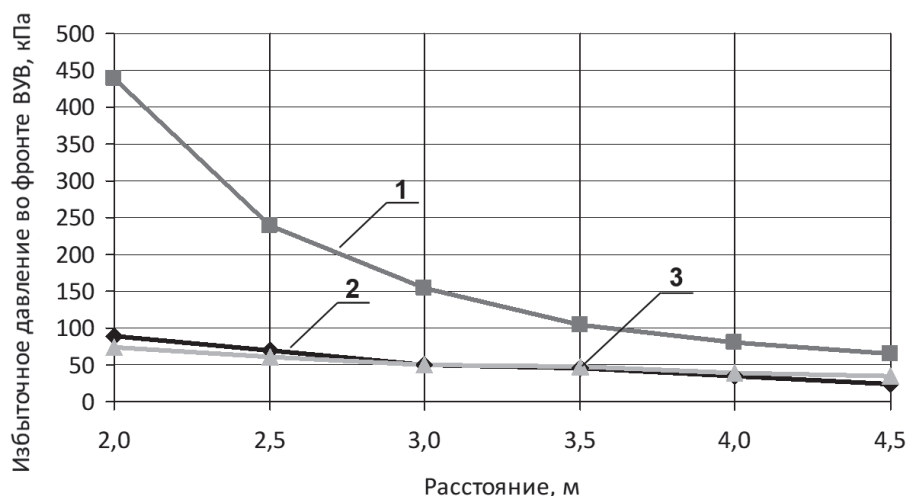


Рис. 9. Вид зависимостей избыточного давления во фронте ВУВ от расстояния до точки подрыва: 1 — при открытом подрыве заряда ТНТ массой 2,0 кг; 2 — при подрыве заряда ТНТ массой 2,0 кг в штатном УЗВ «Фонтан-2» модели 20У; 3 — при подрыве заряда ПВВ-4 массой 1,5 кг в УЗВ «Фонтан-2» модели 20У, снабженном противоосколочным экраном

экраном, уровень избыточного давления во фронте ВУВ на расстоянии 2,0...3,5 м от места взрыва уменьшается в 2,7...4,8 раза по сравнению с уровнем, характерным для открытого подрыва заряда ТНТ массой 2 кг (ТЭ заряда ПВВ-4 массой 1,5 кг). При этом уровень избыточного давления во фронте ВУВ при подрыве заряда ПВВ-4 массой 1,5 кг в УЗВ «Фонтан-2» модели 20У, снабженном противоосколочным экраном, не превышает 50 кПа на расстоянии 3 м от места взрыва, что соответствует нормативным требованиям, предъявляемым к УЗВ «Фонтан-2» модели 20У, у которых отсутствует дополнительный элемент в качестве противоосколочного экрана.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что наличие противоосколочного экрана не влияет на эффективность УЗВ по подавлению фугасного действия размещенного в нем заряда ВВ.

В случае если наличие противоосколочного экрана в составе УЗВ существенно снижает его защитные функции по подавлению фугасного действия взрыва размещенного в нем заряда ВВ, необходимо провести дополнительные исследования по совершенствованию конструкции противоосколочного экрана, связанные с изменением его конфигурации, способа крепления к УЗВ, заменой используемых материалов.

В ходе реализации этапа 7 экспериментально-теоретических исследований с учетом полученных ранее положительных результатов может быть выработано мотивированное решение о целесообразности разработки противоосколочного экрана в составе УЗВ «Фонтан-2» модели 20У.

В случае получения отрицательных результатов в ходе выполнения этапов 4 и 6 экспериментально-теоретических исследований принимается мотивированное решение о нецелесообразности оснащения УЗВ конкретной модели противоосколочным экраном.

Таким образом, разработанный методический аппарат экспериментально-теоретических исследований позволяет принять мотивированное решение о целесообразности/нецелесообразности использования противоосколочных экранов в конкретных конструкциях УЗВ, предназначенных для локализации нормативных зарядов ВВ, содержащих ПЭ.

Список источников

1. Васильев Н.Н., Спивак А.И., Васильев В.Д. и др. К вопросу организации работ по очистке местности от взрывоопасных предметов после чрезвычайных происшествий на объектах хранения боеприпасов // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические

средства противодействия терроризму. 2012. № 3–4. С. 20–30.

2. Васильев Н.Н., Спивак А.И., Дунилов К.К. и др. Пути повышения эффективности подготовки специалистов по осуществлению разведки и нейтрализации минно-взрывных устройств // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2011. № 3–4. С. 68–71.

3. Сильников М.В., Спивак А.И., Пугачев А.Н., Сазыкин А.М. К вопросу разработки специализированной техники обеспечения разминирования и выполнения специальных задач // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2015. № 3. С. 85–90.

4. Пучков А.С., Спивак А.И., Васильева С.Н., Фроленков Ю.А. Оценка эффективности устройств для защиты от взрыва при подрыве толстостенных взрывоопасных предметов // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2024. № 9–10. С. 52–63.

5. Васильев Н.Н., Спивак А.И., Дмитриев В.Я. и др. К вопросу исследования закономерностей снижения уровня избыточного давления во фронте воздушной ударной волны устройствами для защиты от взрыва «Фонтан» // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2014. № 9–10. С. 61–64.

6. Васильев Н.Н., Спивак А.И., Дмитриев В.Я. и др. К вопросу снижения фугасного действия взрыва устройствами для защиты от взрыва «Фонтан» при срабатывании усилен-

ных зарядов // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2014. № 5–6. С. 47–54.

7. Сильников М.В., Гук И.В., Михайлин А.И., Шишкин В.Н. Экспериментальное и теоретическое исследование эффективности действия технических устройств на основе гетерогенной двухфазной среды для подавления поражающих факторов подводного взрыва // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2018. № 1 (101). С. 59–68.

8. Сильников М.В., Михайлин А.И., Шишкин В.Н., Гук И.В. Экспериментальное исследование эффективности действия технических средств на основе гетерогенной двухфазной среды для защиты от подводного взрыва // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2018. № 5–6 (119–120). С. 58–65.

9. Михайлин А.И., Спивак А.И., Чернышов М.В. и др. Разработка и испытания комбинированных средств локализации поражающих факторов взрыва с эффектом направленного взрыва. Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2011. № 7–8. С. 9–16.

10. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М.-Л.: Гостехиздат, 1950. 676 с.

11. Васильев Н.Н., Спивак А.И., Дмитриев В.Я., Малинин А.А. К вопросу оценки противоосколочной стойкости защитных структур // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2014. № 1–2. С. 68–72.