

УДК 623.45

Абрамов Сергей Алексеевич, ст. преподаватель,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, asavkad@mail.ru
Сергеев Сергей Александрович, канд. техн. наук, доц.,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, sergeev56@list.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ФУГАСНОГО ДЕЙСТВИЯ БОЕПРИПАСОВ

Аннотация. В статье предложен методический подход к расчету характеристик фугасного действия боеприпасов при проведении их натурных испытаний и приведены расчетные зависимости для их определения. Эти зависимости можно использовать при автоматизации процесса получения исходных данных, необходимых для задач оценки эффективности поражающего фугасного действия боеприпасов, решение которых могут применяться для прогнозирования возможных разрушений на военных автомобильных дорогах при подрыве разных видов боеприпасов с учетом различных свойств грунта, а также в инновационных технологиях эффективного строительства автомобильных дорог.

Ключевые слова: фугасное действие, боеприпасы, эквивалентная масса заряда, избыточное давление, метод наименьших квадратов.

Abramov Sergey A., senior lecturer,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, asavkad@mail.ru
Sergeev Sergey A., Ph. D., associate professor,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, sergeev56@list.ru

DETERMINATION OF THE INDICATOR OF FUNCTIONAL ACTION OF AMMUNITION

Abstract. The article suggests a methodical approach to determining the index of the explosive action of munitions during their full-scale tests and provides calculated dependencies for its determination. These dependencies can be used to automate the process of obtaining the initial data necessary for assessing the effectiveness of the munitions that destroy munitions, the solution of which can be used to predict possible damage on military highways while undermining various munitions taking into account various properties of the ground, as well as in innovative technologies for efficient construction roads.

Key words: explosive action, ammunition, equivalent charge mass, excess pressure, least squares method.

Введение

Фугасное действие боеприпасов – это разрушающее воздействие на окружающую среду продуктов взрыва заряда бризантного взрывчатого вещества (ВВ), размещенного в их корпусах, и формирующейся при этом ударной волны.

К числу показателей, описывающих частные характеристики поражающего действия боеприпасов, следует отнести эквивалентную массу заряда m_0 , которую можно рассматривать в качестве показателя фугасного действия боеприпаса. При этом под m_0 обычно понимается величина такой массы цилиндрического заряда бризантного ВВ (например тротила), которая создает в окружающей среде ударно-волновое поле, аналогичное тому, которое создает подрыв реального осколочно-фугасного боеприпаса [1]. Однако для практического использования понятия «эквивалентная масса заряда» $m_{\text{экв}}$ необходима методика его определения, в том числе по результатам натурных испытаний.

Результаты исследования и их обсуждение

Фугасное воздействие боеприпаса на грунт зависит [1] от следующих параметров: эквивалентная масса заряда, тип грунта, глубина положения боеприпаса в грунте. Таким образом, зная эквивалентную массу боеприпаса и задав тип грунта и глубину, можно определить размер воронки от взрыва данного боеприпаса, что позволяет прогнозировать возможные разрушения на военных автомобильных дорогах при воздействии различных боеприпасов. Например, радиус зоны разрушения для тротильных зарядов может быть получен по формуле:

$$r_p = k_p \sqrt[3]{m_0},$$

где r_p – радиус зоны разрушения, k_p – коэффициент, зависящий от свойств грунта.

Значения коэффициента k_p приведены в табл. 1.

Таблица 1

Значение коэффициента, зависящего от свойств грунта

Вид грунта	k_p
Свеженасыпанная земля	1,40
Обычный грунт	1,07
Плотный песок	1,04
Каменистый грунт	0,96
Глина	0,94
Известняк	0,92
Гранит	0,77

Правильный расчет фугасного воздействия боеприпасов на грунт также может быть полезен в производственных процессах строительства, ремонта и содержания автомобильных дорог, особенно в инновационных технологиях эффективного строительства дорог [2, 3, 4, 5].

Предположим, что мы имеем некоторый набор цилиндрических зарядов ВВ и некий боеприпас (например артиллерийский снаряд). Необходимо в результате натурных испытаний для этого снаряда определить величину $m_{\text{экв}}$, которую в последующем можно использовать в методике оценки фугасного действия снаряда по типовым целям.

Эксперименты целесообразно провести по схеме, приведённой на рис. 1: на стальной пластине 2 устанавливается заряд ВВ 1 без оболочки, на заданных расстояниях от заряда ВВ 1 устанавливается минимум четыре датчика давления 3, соединённые с регистратором давления 4. Каждый из датчиков 3 фиксирует изменение давления в проходящей ударной волне с заданной дискретностью по времени, в том числе фиксирует максимальное избыточное давление во фронте ударной волны ΔP . Таким образом, в результате одного подрыва фиксируются значения избыточного давления на четырёх различных расстояниях от точки подрыва.

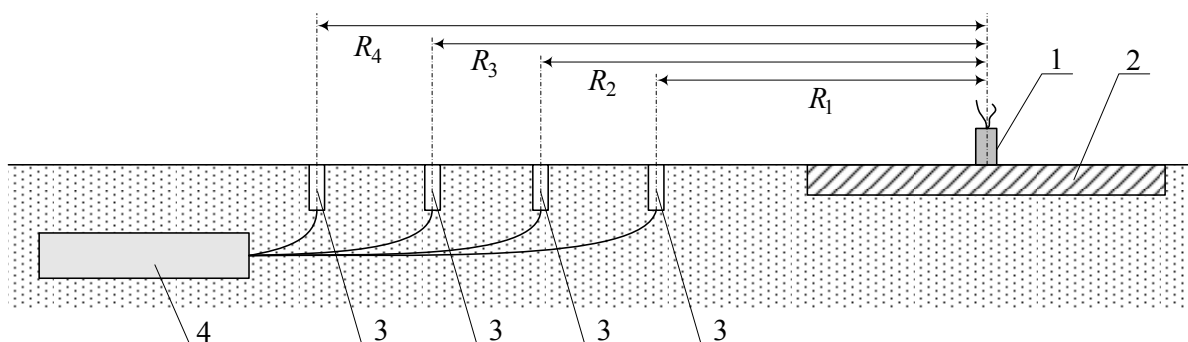


Рис. 1. Схема эксперимента

Проведение натурных испытаний разделим на две части. В первой части экспериментов произведем подрывы цилиндрических зарядов ВВ массами $m_{01}, m_{02}, \dots, m_{0N}$.

По результатам серии опытов с цилиндрическими зарядами ВВ составим таблицу (табл. 2), в которую заносятся:

- m_0 – масса изделия, кг;
- R – расстояние от изделия до точки, в которой измеряется давление, м;
- ΔP – избыточное давление на фронте ударной волны, 10^5 Па.

Таблица 2

Результаты серии опытов

Номер опыта	m_0 , кг		R , м	ΔP , 10^5 Па
1	m_{01}		R_1	ΔP_1
2	m_{02}		R_2	ΔP_2
...	...		...	...
n	m_{0N}		R_n	ΔP_n

По результатам серии опытов определяем формульную зависимость избыточного давления ΔP от массы изделия m_0 и от расстояния до изделия R в виде [6]:

$$\Delta P = A \frac{m_0}{R^3} + B \frac{\sqrt[3]{m_0^2}}{R^2} + C \frac{\sqrt[3]{m_0}}{R}. \quad (1)$$

Затем по данным табл. 2 находим значения коэффициентов A, B, C в формуле (1).

Для этого предлагается следующий алгоритм.

Исходные данные:

- n – число опытов;
- для каждого i -го опыта ($i = 1 \dots n$) принимаем следующие значения параметров, определяющие условия опыта, m_{0i} и R_i , и избыточное давление на фронте ударной волны: ΔP_i . Определяем значения переменной $x = \frac{\sqrt[3]{m_0}}{R}$ для каждого опыта и полученные результаты сводим в табл. 3.

Таблица 3

Значение переменной x

Номер опыта	m_0 , кг	R , м	$x = \frac{\sqrt[3]{m_0}}{R}$
1	m_{01}	R_1	x_1
2	m_{02}	R_2	x_2
...	...	...	...
n	m_{0N}	R_n	x_n

Тогда давление ΔP зависит только от одной переменной x :

$$\Delta P = Ax^3 + Bx^2 + Cx. \quad (2)$$

Обозначим $y = \Delta P$.

Исходные данные для нахождения коэффициентов A , B , C сведем в табл. 4.

Таблица 4

Исходные данные для нахождения неизвестных коэффициентов

Номер опыта	$x = \frac{\sqrt[3]{m_0}}{R}$	$y = \Delta P$
1	x_1	y_1
2	x_2	y_2
...	...	...
n	x_n	y_n

Для нахождения коэффициентов A , B , C методом наименьших квадратов [7, 8] находим оценки начальных и смешанных моментов по следующим зависимостям:

$$\alpha_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2; \quad \alpha_3 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^3; \quad \alpha_4 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^4;$$

$$\alpha_5 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^5; \quad \alpha_6 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^6;$$

$$\alpha_{11} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i y_i; \quad \alpha_{21} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2 y_i; \quad \alpha_{31} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^3 y_i.$$

Затем находим значение коэффициента A :

$$A = \frac{-\alpha_3^2 \alpha_{31} + \alpha_3 \alpha_4 \alpha_{21} - \alpha_2 \alpha_5 \alpha_{21} + \alpha_2 \alpha_4 \alpha_{31} - \alpha_4^2 \alpha_{11} + \alpha_3 \alpha_5 \alpha_{11}}{-\alpha_4^3 + 2\alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 - \alpha_3^2 \alpha_6 + \alpha_2 \alpha_4 \alpha_6 - \alpha_5^2 \alpha_2}.$$

После определения коэффициента A находим значение коэффициента B :

$$B = \frac{-A \alpha_4 \alpha_5 + A \alpha_3 \alpha_6 - \alpha_3 \alpha_{31} + \alpha_4 \alpha_{21}}{\alpha_4^2 - \alpha_3 \alpha_5}.$$

Затем находим значение коэффициента C :

$$C = \frac{\alpha_{31} - A \alpha_6 - B \alpha_5}{\alpha_4}.$$

Результаты расчетов представляем в виде:

$$A = \dots, B = \dots, C = \dots$$

После того как значения коэффициентов A , B и C в формуле (1) определены, можно перейти ко второй части экспериментов, то есть к экспериментам с реальным артиллерийским осколочно-фугасным снарядом.

Опыты проводим по схеме, приведенной на рис. 1. При проведении опытов используются специальные сборки снарядов, которые взрываются с помощью электродетонатора или специально подготовленного взрывателя.

В результате опыта получаем величины избыточного давления ΔP на расстоянии R от снаряда.

Далее действуем по приведенному ниже алгоритму.

Исходные данные:

- R – расстояние от снаряда до точки, в которой измеряется давление, м;
- ΔP – избыточное давление на фронте ударной волны, 10^5 Па.

1. Рассчитываем значение E

$$E = (36ABC + 108A^2y - 8B^3 + 12\sqrt{3}A\sqrt{4AC^3 - B^2C^2 + 18ABCy + 27A^2y^2 - 4AB^3y})^{1/3}.$$

2. Рассчитываем значение x

$$x = \frac{E}{6A} - \frac{2(3AC - B^2)}{3AE} - \frac{B}{3A}.$$

3. Рассчитываем искомую массу эквивалентного заряда ВВ без оболочки (кг)

$$m_{\text{экв}} = R^3 x^3.$$

Таким образом, мы определили величину $m_{\text{экв}}$ на заданном расстоянии R от точки подрыва снаряда. Аналогично можно определить величину $m_{\text{экв}}$ для расстояний $R_1, R_2, \dots, R_n$. Приведя результаты расчетов к усредненным значениям, можно получить необходимую нам величину $m_{\text{экв}\Sigma}$, для которой, используя известные методы, можно рассчитать статистические оценки математического ожидания и доверительного интервала для заданного интервала измерения давления ΔP .

Заключение

Подведя итог, можно сделать вывод, что приведенная выше методика позволяет определять величину эквивалентной массы заряда $m_{\text{экв}}$ для реальных боеприпасов. Эту методику можно использовать при проведении расчетов по оценке фугасного действия боеприпасов.

Список литературы

1. Авиационные боеприпасы / А.Н Дорощев [и др.]. – М.: Изд-во ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 1999. – 445 с.
2. Селиверстов, Н.Д. Инновационные технологии восстановления и поддержания эксплуатационного состояния дорожных покрытий / Н.Д. Селиверстов, Н.К. Тагиева // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2016. – № 9. – С. 17–20.
3. Ефанов, В.В. Анализ средств и методов измерения коэффициента сцепления на взлетно-посадочной полосе аэродрома / В.В. Ефанов, С.А. Абрамов // Передача, приём, обработка и отображение информации о быстропротекающих процессах: Материалы XXVI Всероссийской научно-технической конференции школы-семинара: сб. научных статей, Сочи, 5–10 окт. 2015 г. – Б.м., 2015. – С. 155–164.
4. Пат. 2639737 Российская Федерация. Регистратор температуры и скорости нестационарного газового потока. / С.М. Мужичек, Г.Г. Себряков, А.А. Скрынников, С.А. Сергеев, С.А. Абрамов, В.В. Ефанов, И.А. Новиков. – Опувл. 25.04.2017.
5. Пат. 2645904 Российская Федерация. Регистратор давления и скорости ударной волны. / С.М. Мужичек, Г.Г. Себряков, А.А. Скрынников, С.А. Сергеев, С.А. Абрамов, В.В. Ефанов, И.А. Новиков. – Опувл. 28.02.2018.
6. Методический подход к автоматизации испытаний малокалиберных боеприпасов / С.М. Мужичек, В.В. Ефанов, А.А. Скрынников, С.А. Абрамов // Радиоэлектронные технологии. – 2017. – № 2. – С. 69–73.
7. Мужичек, С.М. О методике автоматизированного проведения наземных испытаний малокалиберных боеприпасов / С.М. Мужичек, А.А. Скрынников, С.А. Абрамов // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. – 2017. – № 9–10 (111–112). – С. 48–53.

8. Методический подход к определению баллистических характеристик неуправляемых движущихся объектов / С.М. Мужичек, С.А. Абрамов, П.В. Шутов, Д.С. Татаренко, В.В. Ефанов. // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. – 2017. – № 3 (98). – С. 86–92.

References

1. Dorofeev A.N., Kuznetsov V.A., Sarkisyan R.S. *Aviatsionnyye boyepripasy* (Aircraft ammunition), Moscow, VVIA, 1999, 445 p.
2. Seliverstov N.D., Tagiyeva N.K. *Remont. Vosstanovleniye. Modernizatsiya*, 2016, no. 9, pp. 17–20.
3. Efanov V.V., Abramov S.A. *Materialy HXVI Vserossiyskoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii shkoly-seminara*, Sochi, 2015, pp. 155–164.
4. Muzhichek S.M., Sebyakov G.G., Skrynnikov A.A., Sergeev S.A., Abramov S.A., Efanov V.V., Novikov I.A. Patent RU 2639737 C1, 25.04.2017.
5. Muzhichek S.M., Sebyakov G.G., Skrynnikov A.A., Sergeev S.A., Abramov S.A., Efanov V.V., Novikov I.A. Patent RU 2645904 C1, 28.02.2018.
6. Muzhichek S.M., Yefanov V.V., Skrynnikov A.A., Abramov S.A. *Radioelektronnyye tekhnologii*, 2017, no. 2, pp. 69–73.
7. Muzhichek S.M., Skrynnikov A.A., Abramov S.A. *Voprosy oboronnoy tekhniki. Seriya 16: Tekhnicheskiye sredstva protivodeystviya terrorizmu*, 2017, no. 9–10 (111–112), pp. 48–53.
8. Muzhichek S.M., Abramov, S.A., Shutov P.V., Tatarenko D.S., Yefanov V.V. *Izvestiya Rossiyskoy akademii raketnykh i artilleriyskikh nauk*, 2017, no. 3 (98), pp. 86–92.