

**О ЗАКОНОМЕРНОСТЯХ ИЗМЕНЕНИЯ ИМПУЛЬСА
ДАВЛЕНИЯ НА ПОВЕРХНОСТИ ПРЕГРАДЫ ВБЛИЗИ
ОТ ЗАРЯДА ВВ**

Е. П. Шубин
(Москва)

Некоторые вопросы, связанные с определением импульса давления на поверхности преграды вблизи от заряда ВВ, до настоящего времени еще не достаточно полно освещены в литературе. Суммарный импульс, переданный преграде при контакте с ней заряда, определялся в основном в зависимости от вида ВВ, плотности его, скорости детонации и геометрических размеров заряда. При этом экспериментальные исследования проводились преимущественно с зарядами цилиндрической формы [1—3]. В меньшей степени исследовались вопросы определения импульса, переданного преграде в различные моменты времени [4]. Обобщенные данные по этим вопросам в настоящее время отсутствуют. Теоретические исследования по этому вопросу проводились в работах [3—5], однако полученные в них результаты нуждаются в более широкой экспериментальной проверке на зарядах различной формы, плотности и скорости детонации ВВ.

Ниже, на основе обобщения теоретических и экспериментальных исследований, рассматриваются вопросы определения величины импульса давления (удельного и суммарного) в различные моменты времени на поверхности преграды вблизи от заряда ВВ в зависимости от формы заряда и свойств ВВ.

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ИМПУЛЬСА ДАВЛЕНИЯ
НА ПОВЕРХНОСТИ ПРЕГРАДЫ**

Определим удельный импульс, переданный преграде при контакте заряда с ней, в различные моменты времени, используя данные работ [3, 4]

В работе [3] приведена графическая зависимость изменения давления во времени в центре контакта между зарядом и стальной плитой при взрыве цилиндрического заряда тротила плотностью $1,5 \text{ г/см}^3$, высотой 72 мм и диаметром 24 мм (рис. 1). Иницирование заряда производилось у его верхнего конца.

Зависимость $p(t)$ находим из формулы

$$p(t) = f\left(p, \frac{Dt}{r}\right),$$

где p — максимальное давление, возникающее на границе раздела среда — продукты детонации при отражении, $\text{кг}/\text{м}^2$; D — скорость детонации ВВ, $\text{м}/\text{сек}$; r — радиус основания заряда, м ; t — время с момента возникновения максимального давления на границе раздела сред, сек .

Тогда данные, представленные на рис. 1, можно с достаточной степенью точности описать следующей зависимостью:

$$p(t) \approx 0,12 \left(\frac{r}{Dt} \right)^{2/3}$$

$$\text{при } t \geq 0,1 \cdot 10^{-6}. \quad (1)$$

Максимальное давление, возникающее на границе раздела сред при отражении, как известно, равно $p = kp_n$. Давление во фронте детонационной волны p_n находится из формулы

$$p_n = \frac{1}{4} \rho D^2,$$

где ρ — плотность ВВ, $\text{кг} \cdot \text{сек}^2/\text{м}^4$; k — коэффициент, зависящий от отношения между плотностью и сжимаемостью продуктов детонации и среды. По данным [3] для тротила с плотностью $1,5 \text{ г}/\text{см}^3$ и стали коэффициент k равен 1,8.

Подставляя значение p в (1), получим

$$p(t) \approx 5,4 \cdot 10^{-2} \rho D^{4/3} \left(\frac{r}{t} \right)^{2/3} \quad (2)$$

$$\text{при } t \geq 0,1 \cdot 10^{-6}.$$

На рис. 1 видно, что зависимость (2) достаточно удовлетворительно описывает кривую, приведенную в работе [3]. Скорость детонации заряда тротила с плотностью $1,5 \text{ г}/\text{см}^3$ принята равной $6500 \text{ м}/\text{сек}$.

Удельный импульс в центре контакта между зарядом и преградой в момент времени $t \gg t_1 = 0,1 \cdot 10^{-6} \text{ сек}$ найдем, интегрируя выражение (2) в соответствующих пределах

$$I(t) = \int_{t_1}^t p(t) dt = 5,4 \cdot 10^{-2} \rho D^{4/3} \int_{t_1}^t t^{-2/3} dt \approx 0,16 \rho D^{4/3} r^{2/3} (t^{1/3} - t_1^{1/3}) \quad (3)$$

$$\text{при } t_1 \leq t \leq \tau_+,$$

где τ_+ — время действия давления взрыва.

При $t \geq 8 \cdot 10^{-6} \text{ сек}$ величина удельного импульса за время t_1 составляет менее 10% от удельного импульса за время t , и с целью упрощения дальнейших зависимостей ею можно пренебречь. Тогда будем иметь

$$I(t) \approx 0,16 \rho D^{4/3} r^{2/3} t^{1/3} \quad (4)$$

$$\text{при } 8 \cdot 10^{-6} \text{ сек} \leq t \leq \tau_+.$$

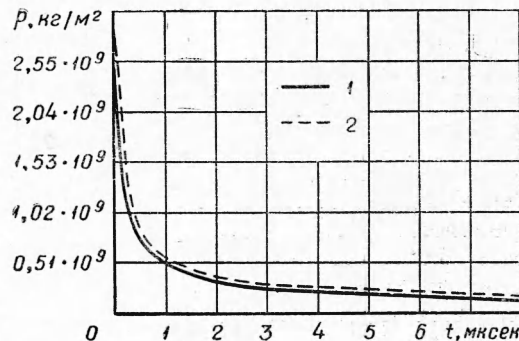


Рис. 1. Зависимость давление — время в центре контакта между зарядом и сталью. 1 — по данным [3]; 2 — по формуле (2).

Сопоставим теперь полученную зависимость (4) с экспериментальными данными работы [3] для цилиндрического тротилового заряда указанных выше размеров, но с плотностью $0,8 \text{ г/см}^3$ (рис. 2).

Удельный импульс на единицу поверхности стальной плиты в центре контакта между зарядом и преградой спустя время $t = 30 \cdot 10^{-6} \text{ сек}$ после детонации, найденный по графику рис. 2 (при $R=0$), составлял $\sim 1700 \text{ кг} \cdot \text{сек/м}^2$. Тот же импульс, рассчитанный по формуле (4) при $t = 30 \cdot 10^{-6} \text{ сек}$, $\rho = 80 \text{ кг} \cdot \text{сек}^2/\text{м}^4$ и $D = 5000 \text{ м/сек}$, равен $1780 \text{ кг} \cdot \text{сек/м}^2$, что указывает на удовлетворительную сходимость формулы (4) с данными работы [3] для цилиндрических тротильных зарядов в практически применяемом диапазоне плотностей ВВ от $0,8$ до $1,5 \text{ г/см}^3$.

Суммарный импульс цилиндрического заряда ВВ, действующий на преграду в момент времени $\geq 8 \cdot 10^{-6} \text{ сек}$, будет равен [4]

$$I_s(t) = I(t) S \approx 0,16 \rho D^{1/3} r^{2/3} t^{1/3} \pi r^2 \approx 0,05 D^{1/3} r^{5/3} t^{1/3} \quad \text{при } 8 \cdot 10^{-6} \text{ сек} \leq t \leq \tau_+ \quad (5)$$

Сопоставим далее полученную зависимость (5) с данными работы [3], приведенными на рис. 3, из которого путем интегрирования кривой нетрудно получить значения суммарного импульса в различные моменты времени для цилиндрического тротилового заряда указанных выше размеров с плотностью $0,8 \text{ г/см}^3$ (табл. 1).

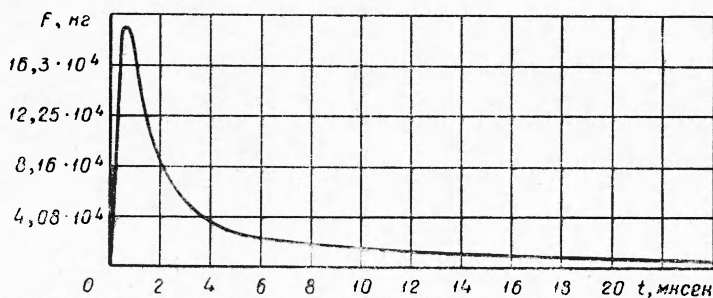


Рис. 3. Зависимость суммарная сила — время в центре контакта между зарядом и сталью.

Как видно из табл. 1, значения суммарных импульсов, рассчитанные по формуле (5), для различных моментов времени удовлетворительно согласуются с данными, приведенными в рассматриваемой работе [3].

Для определения полного (удельного и суммарного) импульса цилиндрического заряда ВВ необходимо знать время действия давления τ_+ . Указанное время, согласно [4], примерно составляет

$$\tau_+ \approx \frac{4h}{D} \quad (6)$$

где h — расстояние от места инициирования заряда до преграды. В рассматриваемом случае это расстояние равно высоте цилиндрического заряда. Подставляя в (4) и (5) вместо t значение τ_+ , получим следующие выражения для полных удельного и суммарного импульсов цилиндрического заряда ВВ

$$I \approx 0,25 \rho D r^{2/3} h^{1/3}, \quad (7)$$

$$I_s \approx 0,8 \rho D r^{8/3} h^{1/3}. \quad (8)$$

Интересно сопоставить полученную в общем виде зависимость (8) с эмпирической формулой, которая была выведена на основе обработки опытных данных [2] при взрывах удлиненных тротильных зарядов (табл. 2).

Т а б л и ц а 1

Сопоставляемые величины	Время, сек		
	$8 \cdot 10^{-6}$	$16 \cdot 10^{-6}$	$22 \cdot 10^{-6}$
Суммарный импульс, найденный по графику рис. 3	0,47	0,57	0,61
Суммарный импульс, рассчитанный по формуле (5)	0,49	0,60	0,65

$$I_s = \frac{135 C}{1 + 0,5 \frac{h}{2a}} \quad (\text{кг/сек}), \quad (9)$$

где C — вес заряда ВВ, кг; $2a$ — сторона квадрата, по площади равного кругу с радиусом r , м; $a = 0,887 r$; h — высота заряда, м.

Как видно из табл. 2, значения полного суммарного импульса цилиндрического заряда ВВ при различных отношениях h/r , рассчитанные по формуле (8), достаточно удовлетворительно согласуются с эмпирической зависимостью (9) для условий, в которых последняя была получена ($\rho = 150 \text{ кг} \cdot \text{сек}^2/\text{м}^4$ и $D = 6500 \text{ м/сек}$). Это лишний раз свидетельствует о справедливости приближенной зависимости (6).

Определим далее суммарный импульс кубического заряда ВВ. В этом случае, очевидно, максимальное давление на границе раздела сред при отражении будет таким же, что и при взрыве цилиндрического

Т а б л и ц а 2

Сопоставляемые величины	Отношение высоты заряда к радиусу его основания, h/r		
	3	4	5
Полный суммарный импульс, рассчитанный по формуле (8)	$1,12 \cdot 10^6 \cdot r^3$	$1,23 \cdot 10^6 \cdot r^3$	$1,33 \cdot 10^6 \cdot r^3$
Полный суммарный импульс, рассчитанный по формуле (9)	$1 \cdot 10^6 \cdot r^3$	$1,17 \cdot 10^6 \cdot r^3$	$1,3 \cdot 10^6 \cdot r^3$

заряда с аналогичными характеристиками ВВ. Время же действия давления τ_+ в этом случае будет меньше и при инициировании в центре кубического заряда составит

$$\tau_+ \approx \frac{4a}{D}. \quad (10)$$

Если принять, что закономерности изменения давления во времени для кубического и цилиндрического зарядов ВВ, площади основания которых равновелики, будут одинаковы, то суммарный импульс кубического заряда ВВ, действующий на преграду в момент времени $t \geq 8 \cdot 10^{-6} \text{ сек}$, составит

$$I_s(t) \approx 0,5 \rho D^{1/3} r^{8/3} t^{1/3}. \quad (10)$$

при $8 \cdot 10^{-6} \text{ сек} \leq t \leq \tau_+ = \frac{4a}{D}$.

Подставим вместо r его значение, равное $\frac{a}{0,887}$, где $a = \frac{0,5 C^{1/3}}{\rho^{1/3} g^{1/3}}$ и $r = \frac{0,563 C^{1/3}}{\rho^{1/3} g^{1/3}}$. Тогда заменив ускорение g его числовым значением ($g=9,81 \text{ м/сек}^2$), будем иметь

$$I_s(t) \approx 1,4 \cdot 10^{-2} \rho^{1/3} D^{4/3} C^{8/3} t^{1/3} \text{ (кг/сек)} \quad (11)$$

$$\text{при } 8 \cdot 10^{-6} \text{ сек} \leq t \leq \tau_+.$$

Подставляя вместо t значение τ_+ из (10), получим полный суммарный импульс кубического заряда ВВ

$$I_s \approx 1,4 \cdot 10^{-2} DC \text{ (кг/сек)}. \quad (12)$$

Для кубического тротилового заряда ВВ с $D=6500 \text{ м/сек}$ величина I_s , согласно (12), составляет $\sim 90 \text{ С кг/сек}$, что полностью согласуется с экспериментальными данными работы [2] и в частности с формулой (9) при $h/2a=1$. Следует отметить, что величина $I_s=90 \text{ С кг/сек}$, согласно [2], достаточно хорошо согласуется с опытными данными для тротильных зарядов ВВ как кубической, так и сферической формы. Этот вывод подтверждается также проведенными опытами.

Соответствие значений I_s , рассчитанных по формуле (12), с экспериментальными данными [2] по взрывам тротильных зарядов ВВ подтверждает справедливость допущения об одинаковой закономерности изменения давления во времени кубического и цилиндрического зарядов ВВ.

Выражения для удельных импульсов по аналогии с (5) напишем в следующем виде¹

$$I = \frac{1,4 \cdot 10^{-2} DC}{4 a^2} \approx 6,4 \cdot 10^{-2} \rho^{2/3} D C^{1/3} \text{ (кг} \cdot \text{сек/м}^2\text{)}, \quad (13)$$

$$I(t) = 6,4 \cdot 10^{-2} \rho^{7/3} D^{4/3} C^{2/3} t^{1/3} \text{ (кг} \cdot \text{сек/м}^2\text{)} \quad (14)$$

$$\text{при } 8 \cdot 10^{-6} \text{ сек} \leq t \leq \tau_+.$$

Определим далее приближенно общие зависимости для удельного и суммарного импульсов заряда ВВ на поверхности преграды для случая расположения заряда на некотором расстоянии от нее. С этой целью воспользуемся следующей эмпирической зависимостью, имеющейся в работе [2]

$$I \approx 18 \frac{C}{r^{2,075}} \cos^{3,575} \alpha \text{ (кг} \cdot \text{сек/м}^2\text{)}, \quad (15)$$

¹ Здесь следует заметить, что в действительности, как это показано в ряде работ [2, 5], удельный импульс, действующий на преграду, во-первых, не является постоянным, а убывает с расстоянием от центра заряда, и, во-вторых, импульс передается преграде на большей площади, чем площадь заряда. Однако точный учет указанного изменения удельного импульса приводит количественно к тем же результатам под центром заряда, что и выражение (13).

Здесь H — расстояние от центра заряда до преграды, m ; α — угол между нормалью к преграде в рассматриваемой точке и направлением на центр заряда, равный $\alpha = \arccos \frac{H}{\sqrt{H^2 + R^2}}$, где R — расстояние от эпицентра взрыва до рассматриваемой точки преграды.

Формула (15) справедлива для зарядов сферической формы для расстояний H , не превышающих 7—10 радиусов заряда.

На основании выражения (15) при $\alpha=0$, т. е. под центром заряда будем иметь¹

$$I = I_{H=r_0} = r_0 \left(\frac{r_0}{H} \right)^2, \quad (16)$$

где I — удельный импульс, действующий на преграду под центром заряда, при расположении его на расстоянии H от преграды; $I_{H=r_0}$ — то же, при контакте заряда с преградой; r_0 — радиус сферического заряда, равный

$$r_0 \approx \frac{0,62 C^{1/3}}{\rho^{2/3} g^{1/3}}. \quad (17)$$

В общем случае удельный импульс, действующий в любой точке преграды, будет равен

$$I = I_{H=r_0} \left(\frac{r_0}{H} \right)^2 \cos^4 \alpha. \quad (18)$$

Величина удельного импульса на поверхности преграды при контакте с ней сферического заряда ВВ составит

$$I_{H=r_0} \approx \frac{1,4 \cdot 10^{-2} D C}{\pi r_0^2} \approx 5,3 \cdot 10^{-2} \rho^{2/3} D C^{1/3}. \quad (19)$$

Подставляя (19) в (18), получим в общем виде следующее выражение для полного удельного импульса заряда ВВ на поверхности преграды

$$I = 5,3 \cdot 10^{-2} \rho^{2/3} D C^{1/3} \left(\frac{r_0}{H} \right)^2 \cos^4 \alpha \text{ (кг} \cdot \text{сек/м}^2\text{)}. \quad (20)$$

Полученная зависимость (20) позволяет находить удельный импульс на поверхности преграды для различных видов ВВ непосредственно через характеристики заряда, что дает возможность определять его при относительно небольших удалениях заряда от преграды (несколько радиусов заряда), когда давления на поверхности преграды составляют сотни и тысячи атмосфер.

Определим далее суммарный импульс, переданный преграде с площади круга радиуса R , знание которого также представляет интерес при решении ряда практических задач.

Суммарный импульс, переданный преграде с площади круга радиу-

¹ Здесь для упрощения расчетов показатель степени округлен.

са R , получим, интегрируя выражение (20) в соответствующих пределах.

$$I_s = \int_0^R 5,3 \cdot 10^{-2} \rho^{2/3} D C^{1/3} \left(\frac{r_0}{H}\right)^2 \left(\frac{H}{\sqrt{H^2 + R^2}}\right)^4 2\pi R dR \quad (21)$$

После интегрирования, подстановки пределов и соответствующих преобразований будем иметь

$$I_s \approx 16,6 \cdot 10^{-2} \rho^{2/3} D C^{1/3} r_0^2 \frac{R^2}{H^2 + R^2}. \quad (22)$$

Подставляя вместо r_0 его значение из (17), после преобразований получим

$$I_s \approx 1,4 \cdot 10^{-2} D C \frac{R^2}{H^2 + R^2} \text{ (кг/сек)}. \quad (23)$$

Из выражения (23) нетрудно найти полный суммарный импульс, переданный преграде. При $R \rightarrow \infty$ будем иметь

$$I_s \approx 1,4 \cdot 10^{-2} D C,$$

что полностью согласуется с полученной ранее зависимостью (12).

Приведенные выше основные формулы для определения импульса зарядов цилиндрической и кубической формы получены, как указывалось выше, для условий, когда тротильный заряд ВВ располагался на стальной плите. В случае же расположения заряда ВВ на других средах коэффициент k в исходном выражении (1) будет иным. Для перехода к зарядам другой формы (сферическому, полусферическому) и другим средам были поставлены специальные эксперименты.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ

Основными задачами экспериментальных исследований являлись:

1) проверка и уточнение полученной зависимости (12) для зарядов кубической формы из различных ВВ;

2) определение влияния материала преграды на величину импульса, переданного преграде;

3) выяснение влияния материала преграды на величину импульса, переданного преграде.

Исследования проводились на простейшей установке, состоящей из свободно подвешенной на тросах плиты (из того или иного материала в зависимости от задач исследования), с укрепленным на ней прибором для измерения скорости ее движения (рис. 4).

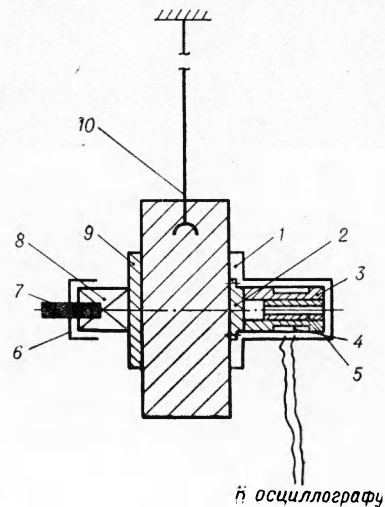


Рис. 4. Принципиальная схема установки для определения импульса взрыва заряда ВВ.

1 — дюралюминиевый корпус; 2 — крышка; 3 — эбонитовая втулка; 4 — постоянный магнит; 5 — катушка; 6 — фольга; 7 — электродетонатор; 8 — заряд ВВ; 9 — прокладка; 10 — трос

При смещении корпуса прибора возникает перемещение постоянного магнита относительно катушек, в результате чего в катушках наводится электродвижущая сила, пропорциональная скорости смещения корпуса.

Импульс, полученный массой маятника, определялся по формуле

$$I_s = mi \text{ (кг/сек)}, \quad (24)$$

где m — масса маятника (вместе с прибором), $\text{кг} \cdot \text{сек}^2/\text{м}$; i — максимальная скорость движения массы маятника, м/сек .

При решении первых двух задач в качестве массы такого маятника использовалась стальная плита диаметром 12,7 см и толщиной 9,4 см.

Для исследования были выбраны заряды кубической, полусферической и сферической формы из пластического ВВ ($\rho = 142 \text{ кг} \cdot \text{сек}^2/\text{м}^4$, $D = 7185 \text{ м/сек}$) и чешуированного тротила ($\rho = 90 \text{ кг} \cdot \text{сек}^2/\text{м}^4$; $D = 4300 \text{ м/сек}$) весом около 20 г. Иницирование осуществлялось электродетонатором в центре заряда.

Размеры плиты и вес заряда ВВ после предварительных экспериментов окончательно были выбраны таким образом, чтобы:

исключался изгиб плиты, так как в противном случае не все участки ее перемещались бы с одинаковой скоростью, при этом толщина плиты была бы по возможности минимальной с тем, чтобы уменьшить влияние волновых процессов, происходящих внутри самой плиты, на качество записи основного процесса;

Таблица 3

Характеристика заряда ВВ		Материал плиты маятника	Импульс взрыва, получен. плитой маятн. I_s , кг/сек^*	I_s/C , сек		
форма заряда	вес ВВ, $C \cdot 10^3$, кг			опытн.	средн. значение	рассчитан. по формуле (12)
<i>Пластическое ВВ</i>						
Куб	22,5	Сталь	2,18	97	} 106	100
"	21,3	"	2,18	102		
"	22,1	"	2,5	113		
"	22,1	"	2,5	113		
"	21,7	"	2,5	106		
Полусфера	21	"	3,06	146	} 158	—
"	18,5	"	3,07	166		
"	18,5	"	2,89	156		
"	18,7	"	3,07	164	} 114	—
Сфера	19,5	"	2,29	117		
"	19,6	"	2,10	107		
"	20,2	"	2,29	113		
"	20,5	"	2,29	112		
"	18	"	2,21	123	} 107	—
Куб	20	Бетон	2,14	107		
"	20	"	2,09	105		
"	20	"	2,02	101		
"	20	"	2,33	116		
"	20	Песок	2,18	109	} 113	—
"	20	"	2,35	117		
<i>Чешуированный тротил</i>						
Сфера	20	Сталь	0,97	48	} 50	60
"	20	"	1,06	53		

* Здесь опытные значения импульсов увеличены: в опытах на стальной плите и с грунтом — в 1,05 раза, на бетонной плите — в 1,08 раза, вследствие ограниченных размеров плит. Указанные коэффициенты определены по формуле (23).

величина импульса, переданного плите, была бы по возможности максимальной, т. е. отличалась от полной величины не более, чем на 5—10%.

При решении третьей задачи в качестве массы маятника использовались бетонные кубики размером $10 \times 10 \times 10$ см и песчаный грунт в металлической обойме, размеры которой соответствовали размерам стальной плиты. При каждом взрыве использовался только один кубик или одна обойма с грунтом.

Запись процесса изменения скорости движения массы маятника при взрыве осуществлялась на катодный осциллограф ОК-24М электронной двухлучевой установки ПИД-9 [6]. Запуск осциллографа осуществлялся с помощью механического датчика-упредителя, работающего на размыкание. В качестве такого датчика использовалась фольговая бумага, укрепляемая на поверхности заряда (см. рис. 4).

Всего было проведено 22 взрыва при 2—5-кратной повторяемости.

Обобщенные данные по измерению полного суммарного импульса взрыва, переданного различными преградами, в зависимости от вида ВВ и формы заряда сведены в табл. 3.

Анализ табл. 3 показывает, что величина полного суммарного импульса, переданного преграде, зависит от формы заряда, вида ВВ и практически не зависит от материала преграды.

Так, величина полного суммарного импульса, переданного преграде, для зарядов полусферической формы оказалась при прочих равных условиях примерно в 1,5 раза больше, чем для зарядов кубической формы. Величина же этого импульса для зарядов сферической формы по сравнению с кубической оказалась больше всего лишь на 7,5%, т. е. находилась в пределах разброса опытных данных. Поэтому величину суммарного импульса, переданного преграде, для зарядов кубической и сферической формы можно практически считать одинаковой.

Сопоставление полученных опытных значений с данными, рассчитанными по формуле (12), приведенное в табл. 3, показывает, что они удовлетворительно согласуются между собой как для кубических зарядов пластического ВВ, так и зарядов из чешуированного тротила.

Как следует далее из табл. 3, величина полного суммарного импульса, переданного преграде, практически не зависит от материала ее, хотя, как указывалось выше, максимальное давление на границе между зарядом и преградой существенно зависит от материала среды и вида ВВ. Это, по-видимому, объясняется довольно резким первоначальным спадом максимального давления (см. рис. 1), в результате чего величина импульса, переданная преграде в течение первых десятых долей микросекунды после взрыва, существенно различная для различных преград, составляет сама по себе незначительную долю от полного импульса взрыва.

Указанный экспериментальный вывод позволяет распространить зависимости для полной величины импульса (удельного или суммарного) на все виды грунтов и другие материалы.

Поступила в редакцию
28/1 1965

ЛИТЕРАТУРА

1. П. Ф. Похил, М. А. Садовский.— Сб. «Физика взрыва». Изд. АН СССР, 1952, № 1.
2. Г. А. Кудряцев. Экспериментальное исследование импульсов взрывной волны на близких расстояниях от заряда. Канд. дисс. Военно-инженерн. акад. В. В. Куйбышева. М., 1946.

3. *К. Б. Броберг*. Ударная волна в упругой и упруго-пластической среде (перевод с английского). М., Госгортехиздат, 1959.
 4. *Ф. А. Баум, К. П. Станюкович, Б. И. Шехтер*. Физика взрыва. М., Физматгиз, 1959.
 5. *О. Е. Власов*. Основы теории действия взрыва. Военно-инженерн. акад. имени В. В. Куйбышева. М., 1957.
 6. *А. И. Соколик, А. И. Станиславский*. Двухканальный пьезоэлектрический измеритель давления ПИД-9. Бюл. «Передовой научно-технический и производственный опыт». Изд-во филиала ВИНТИ, 1957, № П-57-29/8.
-