

**К ВОПРОСУ ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ОБЩЕГО ВИДА  
ЗАВИСИМОСТИ СКОРОСТИ ДЕТОНАЦИИ ОТ РАДИУСА  
ЗАРЯДА**

*Г. Г. Ремпель*  
(Москва)

Несмотря на большое количество экспериментальных исследований зависимости скорости детонации от радиуса заряда, аналитическое выражение ее до сего дня остается неизвестным. Зависимости, предложенные в свое время [1, 2], как известно, не подтверждаются экспериментальными данными [3—5].

Настоящая работа ставила целью получить эмпирические зависимости  $D=f(R)$  для разных ВВ. Их определение производилось как на основании опубликованных экспериментальных данных о скорости детонации зарядов разных радиусов [3, 4, 6, 7], так и на основании результатов проводимых опытов.

Обработка данных производилась путем построения графиков (рис. 1, 2, 3)

$$\lg \Delta D = f \lg (R^{-1}),$$

где  $\Delta D = D_u - D$ ,  $D$  — скорость детонации зарядов с радиусом  $R$ ,  $D_u$  — скорость детонации зарядов с радиусом  $R = \infty$ .

Такие же графики были построены для зарядов из гексогена, динитротолуола, насыщенного донарита, аммонита № 6 разной плотности и целого ряда других ВВ. Во всех случаях, за исключением некоторых смесей малой плотности, содержащих алюминий, у которых кривые  $D=f(R)$  имеют излом [4, 8], получены графики, аналогичные рис. 1, 2 и 3, т. е. для всех твердых ВВ, за исключением нескольких вышеупомянутых смесей, между  $\lg \Delta D$  и  $\lg (R^{-1})$  существует линейная зависимость, а именно

$$\lg \Delta D = n \lg (R^{-1}) + \lg A.$$

Потенцируя, получаем

$$\Delta D = A \cdot R^{-n},$$

откуда

$$D = D_u - \frac{A}{R^n}. \quad (1)$$

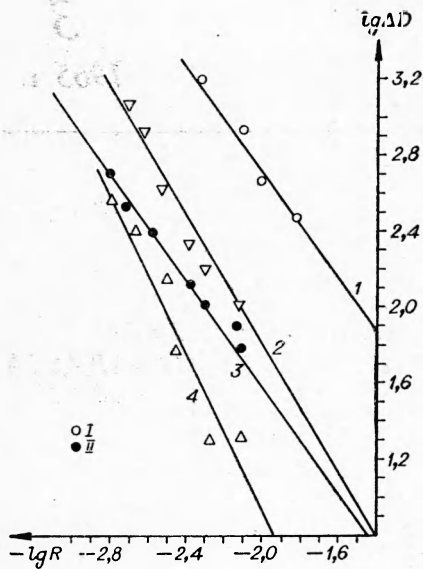


Рис. 1. Зависимости  $\lg \Delta D = f \lg(R^{-1})$  для тротила различных плотностей по данным [3].

1 — насыпной тротил  $\rho = 1,0$ ; 2 — прессованный тротил  $\rho = 1,46$ ; 3 — прессованный тротил  $\rho = 1,55$ ; 4 — прессованный тротил  $\rho = 1,62$ .  
I — экспериментальные точки, II — точки, вычисленные по формуле (1).

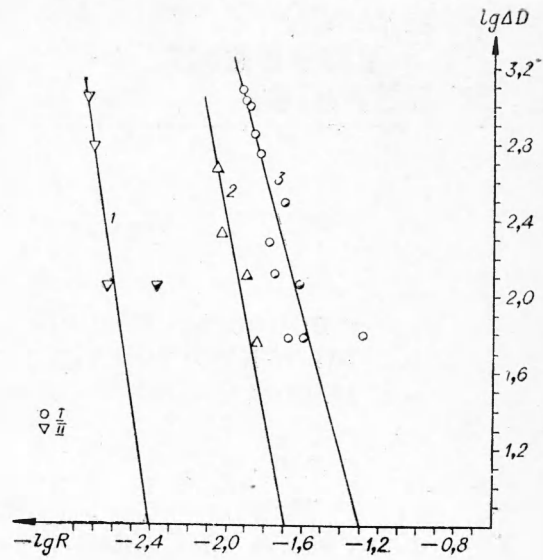


Рис. 2. Зависимости  $\lg \Delta D = f \lg(R^{-1})$  для литого тротила с разной величиной кристаллов.

1 — тротил литой с очень мелкими кристаллами нормальной отливки  $\rho = 1,62$  по данным [6]; 2 — литой тротил мелкокристаллический нормальной отливки  $\rho = 1,58-1,6$  по данным автора; 3 — крупнокристаллический литой тротил не шимозированный по данным автора.  
I — экспериментальные точки, II — точки, вычисленные по формуле (1).

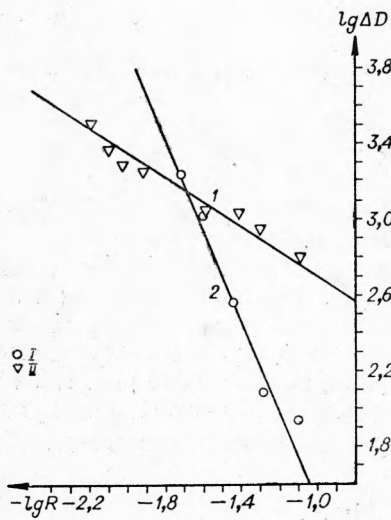


Рис. 3. Зависимость  $\lg \Delta D = f \lg(R^{-1})$  для зарядов аммотола (50 : 50) по данным [4].

1 — насыпной аммотол  $\rho_0 = 1,0$ ; 2 — литой аммотол  $\rho_0 = 1,53$ .  
I — экспериментальные точки, II — точки, вычисленные по формуле (1).

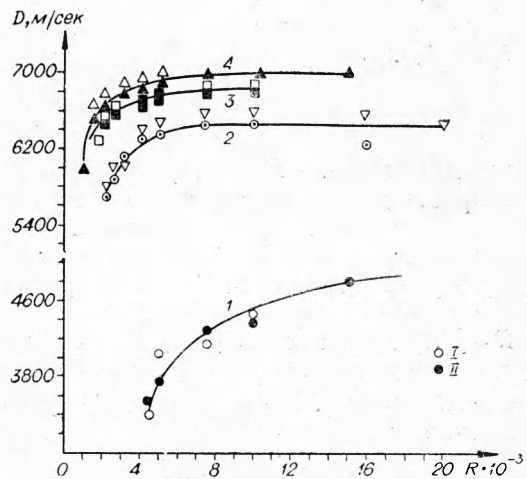


Рис. 4. Кривые  $D = f(R)$  для тротила различных плотностей по данным [3].

1 — тротил насыпной  $\rho_0 = 1,0$ ; тротил прессованный: 2 —  $\rho_0 = 1,46$ ; 3 —  $\rho_0 = 1,55$ ; 4 —  $\rho_0 = 1,62$ .  
I — экспериментальные точки, II — точки, вычисленные по формуле (1).

На рис. 4, 5 и 6 приведены кривые  $D=f(R)$  для прессованного и литого тротила и аммотола 50/50, построенные по формуле (1) с коэффициентами, рассчитанными с помощью графиков рис. 1, 2 и 3.

На этих же графиках показаны средние арифметические результаты экспериментальных данных. Графики, аналогичные рис. 4, 5 и 6, были построены для всех ВВ, для которых строились зависимости  $\lg \Delta D = f \lg(R^{-1})$ . Во всех случаях, так же как и на рис. 4, 5 и 6, получена вполне удовлетворительная сходимость расчетных и экспериментальных данных.

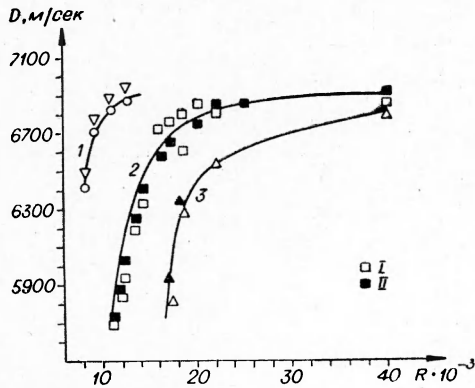


Рис. 5. Зависимости  $D=f(R)$  для литого тротила:

1 — с мелкими кристаллами  $\rho_0=1,62$  по данным [6]; 2 — мелкокристаллического (нормальной отливки)  $\rho_0=1,58-1,60$  по данным автора; 3 — крупнокристаллического не шимозированного по данным автора. I — экспериментальные точки, II — точки, вычисленные по формуле (1).

Таким образом, показано, что формула (1) справедлива для всех ВВ, у которых кривая  $D=f(R)$  не имеет излома. Разделив числитель и знаменатель второго члена правой части формулы (1) на  $R_{кр}^n$ , получим

$$D = D_u - \frac{A}{R_{кр}^n} \left( \frac{R_{кр}}{R} \right)^n,$$

и обозначив  $\frac{A}{R_{кр}^n} = B$ ,

получим

$$D = D_u - B \left( \frac{R_{кр}}{R} \right)^n. \quad (2)$$

При  $R = R_{кр}$   $D = D_{кр}$ , следовательно  $D_{кр} = D_u - B \left( \frac{R_{кр}}{R_{кр}} \right)^n$ , откуда  $B = D_u - D_{кр}$ .

Разделив (2) почленно на  $D_u$ , получим

$$\frac{D}{D_u} = 1 - C \left( \frac{R_{кр}}{R} \right)^n, \quad (3)$$

где  $C = \frac{B}{D_u} = 1 - \frac{D_{кр}}{D_u}$ .

Путем обработки экспериментальных данных были вычислены величины  $n$ ,  $A$ ,  $B$ ,  $C$  для различных взрывчатых веществ. Результаты

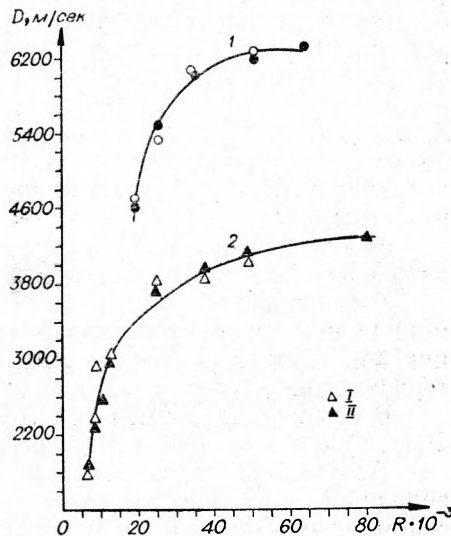


Рис. 6. Зависимости  $D=f(R)$  для аммотола (50 : 50) по данным [4]:

1 — литой аммотол  $\rho_0=1,53$ ; 2 — насыпной аммотол  $\rho_0=1,0$ . I — экспериментальные точки, II — точки, вычисленные по формуле (1).

вычислений для наиболее распространенных ВВ приведены в таблице.

Величины  $B$  и  $C$ , естественно, определялись только для тех ВВ, для которых, кроме данных о зависимости скорости детонации от диаметра заряда и идеальной скорости детонации, имелись достоверные данные  $R_{кр}$ .

ВВ и его характеристика	$\rho, \text{ г/см}^3$	$A$ при $R, \text{ м}$	$n$	$B$	$C$	Источ-ник
Аммонит № 6 $D_u=5100$	1,0	98	0,728			
Аммонит № 6 $D_u=5400$	1,10	109,6	0,682			
Аммонит № 6 $R_{кр}=12 \text{ мм}, D_u=6000$	1,3	204,2	0,541	2239	0,3733	
Аммонит № 6 $R_{кр}=14 \text{ мм}, D_u=6300$	1,4	325,1	0,445	2188	0,3475	
Аммонит № 6 $D_u=5700$	1,2	141,3	0,619			
Тротил нормальной отливки $R_{кр} = 10 \text{ мм}, D_u = 6943$	1,59	$1,069 \cdot 10^{-4}$	3,61	1774	0,2562	
Литой мелкозернистый тротил $R_{кр} = 7,5 \text{ мм}, D_u = 6945$	1,6	$7,762 \cdot 10^{-8}$	4,7	770,9	0,1109	[6]
Литой крупнокристаллический тротил $R_{кр} = 16 \text{ мм}, D_u = 6913$	1,59	$2,239 \cdot 10^{-4}$	3,75	1175	0,17	
Насыпной тротил. Величина частиц $0,07+0,2 \text{ мм}, \lg R_{кр} = 0,7482, D_u = 4525$	0,85	$2,089 \cdot 10^{-1}$	1,74	1730	0,382	[3]
Тротил $R_{кр} = 4,5 \text{ мм}, D_u = 5000$	1,00	3,793	1,052	1117	0,2234	[3]
Тротил $R_{кр} = 2,25 \text{ мм}, \lg R_{кр} = 0,3521, D_u = 6550$	1,46	0,0316	1,667	832	1,1270	[3]
Тротил $R_{кр} = 1,5 \text{ мм}, D_u = 6850, \lg D_u = 3,8357$	1,55	0,0782	1,357	528	0,077	[3]
Тротил $R_{кр} = 1,5 \text{ мм}, D_u = 7000$	1,62	0,2979	2,18	430	0,0616	[3]
Гексоген $D_u = 6798$	1,2	$8,318 \cdot 10^{-3}$	1,86			[4]
Динитротолуол из частиц фракции $(-65+100) D = 4011$	0,95	$9,120 \cdot 10^{-1}$	2,17			[4]
Аммотол (50 : 50) с частицами фракции $(-20+80) D_u = 4900$	1,0	110,9	0,657			[4]
Аммотол литой (50 : 50) $R_{кр} = 16 \text{ мм}, D_u = 6400$	1,53	0,089	2,5	2692	0,4207	[4]
Донарит состава: аммиачная селитра — 80%, тротил — 12%, нитроглицерин — 4%, $D_u = 5000$	1,0	16,03	0,993			[4]

Из таблицы следует, что для всех однородных ВВ  $n > 1$ , причем с увеличением плотности  $n$  растет. Величины же  $A, B, C$  с увеличением плотности уменьшаются, т. е.  $D_u = D_{кр}$  с увеличением плотности однородных ВВ уменьшаются, что отмечалось и ранее [3].

Для взрывчатых смесей с преимущественным содержанием аммиачной селитры  $n < 1$  и уменьшается с увеличением плотности. Величины  $A, B, C$  для этих ВВ с увеличением плотности увеличиваются. Последнее не имеет экспериментального подтверждения, так как для аммиачно-селитренных ВВ большой плотности экспериментальные значения  $D_u$  неизвестны.

Аммотол (50 : 50) малой плотности ведет себя как аммиачно-селитренные ВВ, а большой плотности — как однородные ВВ.

Установленный общий вид зависимости  $D = f(R)$  позволяет с помощью нескольких экспериментально определенных скоростей детонации для зарядов различных радиусов рассчитать все константы, характеризующие детонацию зарядов конечных размеров.

В самом деле, имея три точки на произвольном участке кривой  $D = f(R)$  и выразив ее формулой (1), можно рассчитать  $D_u, A$  и  $n$ .

Полученную таким образом величину  $D_u$  следует сопоставить с ее величиной, рассчитанной каким-либо из известных методов, например, с помощью зависимости идеальной скорости детонации от плотности,

приведенной в [4], с помощью зависимости Мартина и Ялопа [9], по методу Апина и Воскобойникова [10]. Совпадение с точностью 1—2% величины  $D_u$ , рассчитанной по формуле (1), с величиной  $D_u$ , рассчитанной по одному из признанных методов, служит доказательством того, что для данного ВВ кривая  $D=f(R)$  носит плавный характер и может быть выражена формулами (1) и (2).

Подставив значения  $D_u$ ,  $A$  и  $n$  в формулу (2), рассчитываем  $D_{кр}$  и  $R_{кр}$ .

Если за предельный радиус  $R_{пр}$  принять такой, при котором скорость детонации меньше идеальной на какую-то постоянную величину, то, обозначив эту величину  $a$ , из (1) получим

$$R_{пр} = \left( \frac{A}{a} \right)^{1/n}.$$

Величину  $a$  следует принять равной порядку ошибки современных методов измерения скорости детонации. Для большинства бризантных ВВ при практически употребляемых плотностях может быть принято  $a \approx 10$  м/сек, тогда

$$R_{пр} = \left( \frac{A}{10} \right)^{1/n}.$$

Полученные зависимости могут быть использованы:

- 1) для расчетов величины  $R_{кр}$  в тех случаях, когда экспериментальное определение вследствие его большого значения затруднено;
- 2) для проверки величины  $D_u$  рассчитанной другими методами;
- 3) для уточнения величин  $D_{кр}$ , экспериментальное значение которых вследствие большой кривизны кривой  $D=f(R)$  при  $R \rightarrow R_{кр}$  определяется с большим трудом;
- 4) для сокращения количества экспериментов при определении зависимости  $D=f(R)$ ;
- 5) для суждения о характере кривой  $D=f(R)$  на участках, для которых отсутствуют экспериментальные данные.

Поступила в редакцию  
15/II 1965

#### ЛИТЕРАТУРА

1. H. Jones. Proc. of the Roy. Soc. Series A, 1947.
2. H. Eyring, R. E. Powell, G. H. Duffey, R. B. Parlin. J. Chem. Rev., 1949, 45, 69.
3. Л. Н. Стесик, А. П. Акимова. Ж. физ. хим., 1959, 8, XXIII.
4. M. A. Cook. Science of High Explosives, ACS Monograph N 139, Reinhold Publishing Corporation, New York, 1958.
5. Л. В. Дубнов. Ж. физ. хим., 1960, 10, XXXIV.
6. Raymen, Vudhed, Cibulski. Detonating Waves. Praccendings of the Royal Society. 1948, 197, 1048.
7. В. К. Боболев. Сб. «Физика взрыва». М., Изд-во АН СССР, 1963, 2.
8. А. С. Бахиревич, Л. В. Дубнов. Сб. «Взрывное дело». Госгортехиздат, 1962, № 49/6.
9. К. К. Андреев, А. Ф. Беляев. Теория ВВ. М., Оборонгиз, 1960
10. А. Я. Апин, Н. М. Воскобойников. ПИМТФ, 1960, 4.