

О РАБОТОСПОСОБНОСТИ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ. МЕТОД ТРАУЦЛЯ

А. Н. Афанасенков

Институт проблем химической физики РАН, 143432 Черноголовка, ilmaslov@mail.ru

Предложена простейшая формула для расчета абсолютного значения работоспособности взрывчатого вещества, определяемой по методу Трауцля (расширение в свинцовой бомбе), которая содержит только один параметр — относительную работоспособность взрывчатого вещества, рассчитываемую по теплоте взрыва и объему газов взрыва.

Ключевые слова: взрывчатое вещество, работоспособность, метод Трауцля, теплота взрыва, объем газов взрыва.

При совершении работы в виде общего действия взрыва (разрушение горных пород, выброс грунта) основным параметром взрывчатого вещества (ВВ) принято считать полную работу взрыва ($A_{\text{п}}$), или работоспособность. Определение ее было дано А. Ф. Беляевым [1]: «Полной работой взрыва или полной работоспособностью мы будем называть сумму всех форм механической работы взрыва». То есть можно считать, что работоспособность — это механическая работа взрыва, $A_{\text{мех}} = A_{\text{п}}$. Полная работа взрыва максимальна при расширении продуктов взрыва в воздух. В этом случае она практически равна теплоте взрыва ВВ ($Q_{\text{ВВ}}$). При взрыве в горной породе часть энергии продуктов идет на нагревание породы, часть в виде тепловой энергии остается в продуктах, так что энергия, идущая на механическую работу ($A_{\text{мех}}$), всегда меньше $Q_{\text{ВВ}}$ и может составлять от нее 70 ÷ 80 %. Отношение $\eta = A_{\text{мех}}/Q_{\text{ВВ}}$ неудачно названо коэффициентом полезного действия взрыва (КПД взрыва). На самом деле, собственно полезная работа взрыва, необходимая человеку, составляет порядка 5 ÷ 7 % теплоты взрыва. Чтобы не было путаницы, авторы [2] пользовались выражением «механический КПД взрыва».

Разработано много методов определения работоспособности ВВ, обзор которых можно найти в [3, 4]. Однако в ряде из них определяется не вся механическая работа, а только ее часть. Во многих методах измеряется некоторый параметр, связанный с проявлением механического действия взрыва. В методе Трауцля — это объем полости в свинцовой бомбе; в методе баллистического маятника — угол отклонения маятника, в методе бризантометра

Каста — степень деформации медного крешера и т. д. По этим параметрам и сравниваются ВВ между собой. Если же ввести стандартное (эталонное) ВВ, то эффективность взрыва любого другого ВВ будет характеризоваться относительной работоспособностью $f = A_{\text{п}}/(A_{\text{п}})_{\text{эт}}$, а в реальном эксперименте $f = A_{\text{мех}}/(A_{\text{мех}})_{\text{эт}}$. В [3] авторы пишут: «Учет реальных условий приводит к снижению абсолютной величины работы (расчетной), однако относительные значения работоспособностей f при этом меняются несущественно и этими относительными значениями, полученными из идеальной теории, можно пользоваться на практике для количественного сравнения действия взрыва отдельных ВВ». И далее: «У большинства используемых на практике ВВ свойства продуктов взрыва близки и полная работа составляет практически одинаковую долю полной энергии взрыва. Поэтому в дальнейшем мы будем в качестве основной характеристики использовать полную энергию (т. е. $Q_{\text{ВВ}}$) или величину тротилового эквивалента по энергии». Следуя [3], мы в дальнейшем изложении будем использовать понятие относительной работоспособности f , только в качестве эталонного ВВ будет служить аммонит 6ЖВ, а не тротил.

Из многих методов определения работоспособности ВВ наиболее широкое распространение получил метод Трауцля (взрыв заряда ВВ в свинцовой бомбе). Метод стандартизован в ряде зарубежных стран под названием «метод С.У.Р.» [5], стандартизован он и в нашей стране [6]. В этом методе используют стандартную цилиндрическую свинцовую бомбу, диаметр и высота которой равны 20 см. В осевой канал диаметром 2,5 см и глубиной

12,5 см помещают заряд исследуемого ВВ массой 10 г и капсюль-детонатор № 8. Канал засыпают песком и подрывают. За меру работоспособности принимают приращение объема полости за вычетом расширения, производимого детонатором, $\Delta V = \Delta V_{\text{общ}} - \Delta V_{\text{дет}}$. Часть энергии продуктов идет на нагревание свинца, часть расходуется на сообщение скорости песчаной забойке и уносится с продуктами взрыва при вылете из полости. Таким образом, объем полости в свинцовой бомбе определяется величиной $A_{\text{мех}}$, а не полной энергией ВВ.

Величина ΔV часто указывалась в технических условиях на ВВ в качестве обязательного экспериментального параметра. Вместе с другими параметрами она составляла комплексную характеристику эффективности взрыва ВВ и входила в сравнительную характеристику ВВ между собой. В работе [7] собрано большое количество данных по величине ΔV и предпринята попытка получить единую зависимость с целью предсказания значения ΔV для новых ВВ. Эта попытка не имела успеха, поскольку авторы [7] использовали ошибочные положения. Во-первых, они рассматривали совокупность всех экспериментальных данных в координатах $\Delta V - Q_{\text{ВВ}}$, а не в координатах $\Delta V - A_{\text{мех}}$, как должно быть (см. выше). Во-вторых, вместо понятия относительной работоспособности они ввели новую величину — относительный КПД взрыва: $\eta_{\text{отн}} = \eta_{\text{ВВ}}/\eta_{\text{эт}}$. Но КПД исследуемого и эталонного ВВ рассчитывали в [7] с использованием температуры детонации ВВ, которая, в свою очередь, определяется полной энергией взрыва ($T = Q_{\text{ВВ}}/c_v$, где c_v — средняя удельная теплоемкость продуктов взрыва при постоянном объеме). Снова авторы [7] вместо $A_{\text{мех}}$ использовали $Q_{\text{ВВ}}$. В качестве относительной работоспособности они брали не общепринятую величину f , а величину $A_{\text{отн}} = \eta_{\text{отн}}Q_{\text{ВВ}}$. Это явная ошибка, поскольку относительная работоспособность должна быть безразмерной величиной. Так как $A_{\text{отн}}$ (у авторов [7]) — размерная величина (ккал/кг), то она должна характеризовать само ВВ или какой-либо процесс. Для всех ВВ в [7] получено $\eta_{\text{отн}} > 1$ и $A_{\text{отн}} > Q_{\text{ВВ}}$. Поскольку теплота взрыва является максимальной энергией ВВ, стандартной его характеристикой, то такого соотношения по термодинамике не может быть, и, как следствие, формула для расчета относительной работоспособности в [7]

$$A_{\text{отн}} = 1,6Q_{\text{ВВ}}^{0,4}V_0^{0,6} \quad (1)$$

является ошибочной (несмотря на всю ее привлекательность, поскольку она содержит всего два основных параметра — теплоту и объем газов взрыва).

В настоящей работе применен несколько иной подход: ставилась задача не описать имеющийся набор экспериментальных данных по ΔV единой зависимостью, а найти способ независимого расчета ΔV и сравнить результаты расчета с экспериментом. В ряде работ указывалось, что в некоторых методах результаты эксперимента можно предсказать, используя так называемые переводные коэффициенты — отношение эквивалентного заряда исследуемого ВВ к заряду эталонного при одинаково измеряемом параметре. В качестве переводного коэффициента мы использовали величину относительной работоспособности f . В работе [8] впервые предложена формула для расчета относительной работоспособности f , содержащая два основных параметра ВВ — $Q_{\text{ВВ}}$ и V_0 :

$$f = \left(\frac{Q_{\text{ВВ}}}{Q_{\text{эт}}}\right)^{0,75} \left(\frac{V_0}{V_{\text{эт}}}\right)^{0,25} \quad (2)$$

$$\left(\text{или } f = \left(\frac{Q_{\text{ВВ}}}{1031}\right)^{0,75} \left(\frac{V_0}{893}\right)^{0,25}\right),$$

где $Q_{\text{эт}}$ и $V_{\text{эт}}$ — теплота и объем газов взрыва эталонного ВВ (аммонит 6ЖВ, $Q_{\text{ВВ}} = 1031$ ккал/кг, а $V_0 = 893$ л/кг). В работе [9] приведены некоторые подробности получения формулы (2).

Табл. 1 и 2 позволяют сравнить результаты расчета относительной работоспособности f по формуле (2) с литературными данными. В табл. 1 приведены значения переводного коэффициента K , взятые из справочника [10], и величины $f = 1/K$ для отечественных ВВ, а в табл. 2 — значения f , взятые из работы [5] и рассчитанные по (2), для зарубежных ВВ. В табл. 2 приведены также скорости детонации ВВ, измеренные в зарядах диаметром 40 мм. Для справки в таблицах указаны исходные основные параметры ВВ — $Q_{\text{ВВ}}$ и V_0 . Наблюдается довольно хорошее согласие результатов расчета величины f по формуле (2) с литературными данными. Таким образом, формула (2) вполне пригодна для предсказания относительной работоспособности промышленных ВВ.

Далее, в эксперименте величина f определяется как отношение некоторого измеряемого

Таблица 1
Относительная работоспособность отечественных промышленных ВВ

ВВ	$Q_{ВВ}$, ккал/кг	V_0 , л/кг	K [10]	$f = 1/K$	f (формула (2))
Граммонит 50/50	857	931	1,11	0,90	0,89
Граммонит 30/70	910	854	1,14	0,88	0,90
Гранулотол	1000	740	1,20	0,83	0,93
Аммонит СК-3	1360	810	0,80	1,25	1,20
Гранулит АС-4	946	924	0,98	1,02	0,95
Гранулит АС-8	1010	883	0,89	1,12	1,13
Детонит М	1390	832	0,82	1,22	1,23
Игданит 94,5/5,5	922	972	1,13	0,88	0,91
Карбатол ГЛ-10В	1360	850	0,79	1,27	1,22
Алюмотол	1260	675	0,83	1,21	1,09
Аммонит СК-1	1292	830	0,81	1,23	1,16
Аммонит АП-5	840	787	1,14	0,88	0,83

Таблица 2
Относительная работоспособность зарубежных промышленных ВВ

ВВ	$Q_{ВВ}$, ккал/кг	V_0 , л/кг	f		D , км/с
			[5]	формула (2)	
Sufranex	1570	760	1,28	1,22	6,3
Gomme F15	1117	840	0,97	0,97	6,3
Minex F13S	920	923	0,84	0,86	3,00
N40R	995	909	0,89	0,91	4,50
N31R	1315	797	1,10	1,08	4,55
NF4	922	970	0,85	0,87	2,70
N135	1132	906	0,99	1,00	3,00
Gelsurite 2000	1205	675	1,00	0,97	4,24
Gelsurite E1	729	883	0,70	0,71	5,00
Hydrolit AP	835	834	0,76	0,78	5,00
Iremite 110	1380	535	1,09	1,02	3,70
Gel № 2	1267	842	1,07	1,07	3,70
Tolite	1013	510	0,83	0,80	3,80
Dynamex*	1160	850	1,00	1,00	—
Pla-NP	1220	690	1,01	0,99	7,45

Примечание. *Стандарт.

параметра исследуемого ВВ к такому же измеряемому параметру эталонного ВВ. Например, при взрыве в песке это отношение объемов воронок выброса, в методе Трауцля — отношение объемов полостей в свинцовой бомбе, в методе баллистического маятника — отношение углов отклонения маятника и т. д. Таким образом, для метода Трауцля $f = \Delta V / \Delta V_{\text{эт}}$ или

$$\Delta V = f \Delta V_{\text{эт}}. \quad (3)$$

Принималось, что для эталонного ВВ — аммонита 6ЖВ — расширение в бомбе Трауцля составляет $\Delta V_{\text{эт}} = 373 \text{ см}^3$.

Результаты расчета расширения в бомбе Трауцля по формуле (3) приведены в табл. 3 и 4. Табл. 3 содержит экспериментальные данные практически для всех промышленных ВВ, применявшихся в различные годы в нашей стране. Они взяты из работ [3, 11, 12] и частично дублируют табл. 3 из [7]. В табл. 4 представлены данные для опытных ВВ, которые исследовались в Макеевском институте безопасности. Они заимствованы из работы [13]. В табл. 4 приведены также скорости детонации опытных составов. (Значения $Q_{\text{ВВ}}$ и V_0 не пересчитывались, поскольку состав опытных ВВ автору неизвестен). С первого взгляда видно, что для одних ВВ наблюдается хорошее согласие результатов расчета и эксперимента, для других согласие отсутствует.

Табличные данные в графическом виде представлены на рисунке, где $\Delta V_{\text{расч}}$ — расчет по формуле (3). Темными точками показаны данные табл. 3, светлыми — данные табл. 4 (для последних указаны скорости детонации). Видно, что данные из табл. 3 группируются около прямой $\Delta V_{\text{экс}} = \Delta V_{\text{расч}}$, а данные табл. 4 лежат выше прямой. Такое расположение точек связано, по нашему мнению, со скоростью детонации ВВ. Этот вывод основан на следующем. В лаборатории промышленных взрывчатых веществ Объединенного института химической физики АН СССР (Черноголовка) при разработке нового метода определения критического диаметра детонации ($d_{\text{кр}}$) низкочувствительных промышленных ВВ было установлено, что критическая скорость детонации ВВ ($d = d_{\text{кр}}$) при насыпной плотности составляет $2,8 \div 3,2 \text{ км/с}$, а наблюдавшиеся в эксперименте значения $1,7 \div 2,2 \text{ км/с}$ относятся к неустановившимся режимам детонации или к режиму низкоскоростной детонации. Детонация при таких режимах может распростра-

няться на расстояние до 30 диаметров заряда. Результаты частично опубликованы в работах [14, 15]. В работе [16] приведены также экспериментальные дискретные значения критической скорости детонации промышленных ВВ, которые равны либо 1,5, либо 2,4 км/с. Мы считаем, что первое значение соответствует низкоскоростной детонации, а второе — нормальной. Обращаясь к табл. 3, видим, что значения f , рассчитанные по формуле (2), совпадают с данными [5] (см. табл. 1) для ВВ, у которых $D > 2,7 \text{ км/с}$, а анализ данных табл. 4 показывает, что низкие экспериментальные значения ΔV в бомбе Трауцля наблюдаются у ВВ, скорость детонации которых лежит в интервале $1,6 \div 2,5 \text{ км/с}$ (измерения скорости детонации проводились с зарядом диаметром 36 мм). Эти значения соответствуют режимам низкоскоростной детонации. Значения ΔV для ВВ, у которых $D \geq 2,54 \text{ км/с}$ (светлые кружки), вполне удовлетворительно согласуются с прямой $\Delta V_{\text{экс}} = \Delta V_{\text{расч}}$. Среднеквадратичное отклонение основного массива точек от прямой (без выпадающих 11 точек) составляет 28 см^3 , а для всего массива оно равно 42 см^3 , т. е. в 1,7 раза больше. В ГОСТе [6] рекомендуется проводить всего лишь два опыта с допустимым разбросом 20 см^3 без указания ошибок отдельного опыта.

Таким образом, взрывчатые вещества, которые детонируют в зарядах диаметром не меньше 40 мм со скоростью $D > 2,5 \text{ км/с}$, можно сравнивать друг с другом по работоспособности, определенной методом Трауцля. К ВВ, детонирующим в низкоскоростном режиме или в затухающем процессе, применять метод Трауцля нецелесообразно. В частности, к новым низкочувствительным ВВ (гранулированным, эмульсионным и т. д.), критический диаметр детонации которых $150 \div 200 \text{ мм}$ [17] и, следовательно, при диаметре заряда 40 мм они не детонируют, метод Трауцля неприменим.

Отметим, что, используя данные по работоспособности ВВ, измеренные методом Трауцля (или определенные по формуле (2)), можно предсказать, если необходимо, результаты других методов (воронкообразование, бризантность и др.) по соответствующим корреляционным соотношениям [13, 18].

Итак, в работе показано, что работоспособность ВВ в бомбе Трауцля можно рассчитывать, не проводя эксперимента, по формуле (3), используя только два параметра ВВ — теплоту

Таблица 3

Работоспособность отечественных промышленных ВВ, определенная методом Трауцля

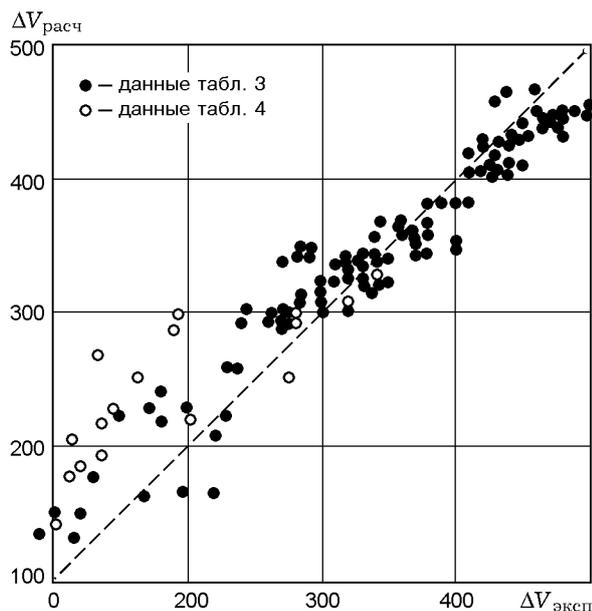
ВВ	$Q_{ВВ}$, ккал/кг	V_0 , л/кг	f	ΔV , см ³	
				эксперимент	расчет
1	2	3	4	5	6
Гексоген	1310	890	1,20	520	444
Гексоген	1320	840	1,19	475	440
Гексоген	1300	900	1,19	465	440
Гремучий студень	1548	751	1,17	520	433
Тэн	1410	780	1,22	500, 490	452
Тэн	1400	800	1,22	480	452
Детонит 15А-10	1407	778	1,22	470, 520	451
Детонит М	1382	832	1,22	460, 500	453
Аммонит СК-1	1292	830	1,16	450, 480	430
Акватол М-15	1380	805	1,21	465, 480	448
Аммонит СК-3	1360	810	1,20	450, 470	444
Граммонал А-45	1490	752	1,26	440, 460	467
Динамон АМ-10	1285	840	1,16	430, 450	430
Детонит 10-А	1200	828	1,10	430, 450	407
Детонит 6А	1218	837	1,11	425, 440	412
Динамон АМ-8	1180	843	1,09	420, 440	404
Алюмотол	1260	875	1,16	420, 440	428
Алюмотол	1463	745	1,24	430	460
Аммонал водоуст.	1180	845	1,09	410, 430	403
Гранулит АС-8	1242	847	1,13	410, 430	419
Акванит № 2	1095	853	1,03	380, 400	382
Гранулит АС-4	1080	907	1,04	390, 410	384
Аммонит В-3	1000	910	0,98	360, 380	362
Аммонит 6	1030	895	1,00	370	370
Акватол 65/35	920	925	0,93	330–380	343
Аммонит 7ЖВ	995	905	0,98	360, 370	361
Аммотол 80/20	1000	800	0,95	370	352
Аммоксил	980	908	0,97	340, 370	358
Зерногранулит 50/50	880	810	0,87	340, 350	321
Тетрил	1090	750	1,00	345	370
Аммонит 10ЖВ	908	924	0,92	310, 340	339
Зерногранулит 30/70	911	800	0,89	330, 340	328
Победит ВП-4	923	780	0,89	320, 340	329
Победит ВП-4	906	770	0,87	330	324

Продолжение табл. 3

1	2	3	4	5	6
Игданит	900	930	0,91	320, 330	338
Аммонит 9ЖВ	857	933	0,88	300, 330	326
Аммонит 88/12	740	931	0,85	340	315
Гранулит С-2	917	935	0,93	320, 330	343
Аммонит АП-5ЖВ	907	787	0,88	323, 335	326
Нитромочевина	795	850	0,81	320	301
Динамон	800	850	0,82	280, 300	302
Гранулотол	1010	750	0,94	285, 295	349
Гранулотол	880	750	0,85	285	315
Тротил	1030	688	0,94	285	346
Аммонит АП-4ЖВ	864	761	0,84	285, 300	311
Аммонит Т-21	806	724	0,79	280	292
Аммонит ПЖВ-20	813	717	0,79	265, 280	293
Аммонит Т-19	814	724	0,79	270, 280	294
Гексамон-5	825	680	0,79	280	292
Мипорит	836	745	0,82	265, 280	302
Нитрат мочевины	610	910	0,68	275	254
Динитробензол	850	717	0,82	245, 275	303
Селектит № 1	810	760	0,80	240	297
Аммонит серный	483	878	0,56	200, 220	209
Аммонит нефтяной	744	635	0,72	230, 240	266
Нитрат аммония	346	980	0,45	165, 195	164
Аммонит А-40	600	551	0,59	180	218
Угленит Э-6	640	560	0,62	130, 170	230
Аммонит А-50	487	454	0,48	130	178
Угленит № 7	375	527	0,41	100, 120	152
Азид свинца	381	308	0,36	115	134
Угленит № 5	311	215	0,29	60, 90	105
Угленит № 2	380	320	0,37	90	135
Граммонал А-8	1285	860	1,17	420, 440	432
Аммотол 80/20 +30 % KCl	900	800	0,88	320	325
Аммотол 80/20 +20 % SiO ₂	800	720	0,79	270	290
Аммотол 86/14 +20 % NaCl	645	690	0,66	180	244
Нитрат мочевины + 10 % KCl	568	733	0,61	227	225

Таблица 4
Работоспособность экспериментальных ВВ, определенная методом Трауцля

ВВ	$Q_{ВВ}$, ккал/кг	V_0 , л/кг	f	ΔV , см ³		D , км/с
				расчет	эксперимент	
Аммонит 6ЖВ	1035	890	1,00	373	373	4,10
А-13,5	802	924	0,83	310	320	3,84
Аммонит ПЖВ-20	804	717	0,78	291	278	3,80
Гранитол А-7	598	950	0,67	250	276	3,26
Аммонит ПЖВ-40	603	538	0,59	220	200	2,54
Гранулит А-4	508	964	0,60	229	200	2,54
Аммонит ПЖВ-20Г	804	717	0,78	291	190	2,39
Аммонит ПЖВ-60	402	358	0,39	145	102	2,30
Н-2	704	600	0,68	254	163	2,15
Угленит Э-6	643	560	0,62	231	147	2,12
Аммонит ПЖВ-40Г	603	538	0,59	220	137	2,07
Селектит С-1	814	760	0,80	298	195	1,90
Угленит У-5	312	215	0,28	104	70	1,75
Угленит 7-У	488	530	0,50	187	120	1,75
Ионит	452	570	0,48	179	112	1,68
Аммонит ПЖВ-60Г	402	358	0,39	145	71	1,65
305	804	560	0,74	276	134	1,60
Угленит У-8	573	600	0,58	216	115	1,58



$Q_{ВВ}$ и объем газов взрыва V_0 , которые содержатся в технических условиях на ВВ.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Беляев А. Ф.** О полной работе взрыва // Физика взрыва. Сб. № 2. М.: Изд-во АН СССР, 1953. С. 27.
2. **Апин А. Я., Беляев А. Ф., Соснова Г. С.** Экспериментальное определение теплоты взрыва // Там же. С. 3.
3. **Андреев К. К., Беляев А. Ф.** Теория взрывчатых веществ. М.: Оборонгиз, 1960.
4. **Кук М. А.** Наука о промышленных взрывчатых веществах. М.: Недра, 1980.
5. **Blanc J.-P., Thiard R. L.** L'énergie des explosifs // Explosifs. 1984. V. 37, N 1. P. 97–110.
6. **Вещества взрывчатые.** Методы определения фугасности. ГОСТ 4546-81. М.: Госстандарт, 1982.
7. **Кузнецов В. М., Шацкевич А. Ф.** О работоспособности взрывчатых веществ // Физика горения и взрыва. 1978. Т. 14, № 2. С. 120–125.

8. **Афанасенков А. Н., Котова Л. И., Кукиб Б. Н.** О работоспособности промышленных ВВ // Детонация: Материалы X Симпоз. по горению и взрыву. Черногоровка: ОИХФ АН СССР, 1992. С. 34–35.
9. **Афанасенков А. Н., Котова Л. И., Кукиб Б. Н.** О работоспособности промышленных взрывчатых веществ // Физика горения и взрыва. 2001. Т. 37, № 3. С. 115–125.
10. **Нормативный** справочник по буровзрывным работам. М.: Недра, 1986.
11. **Дубнов Л. В., Бахаревич Н. С., Романов А. И.** Промышленные взрывчатые вещества. М.: Недра, 1973.
12. **Поздняков З. Г., Росси Б. Д.** Справочник по промышленным взрывчатым веществам и средствам взрывания. М.: Недра, 1977.
13. **Вайнштейн Б. И., Чернов К. С., Песоцкий М. К.** Анализ методов определения работоспособности ВВ // Взрывное дело. № 84/41. М.: Недра, 1982. С. 75–83.
14. **Кукиб Б. Н., Лавров В. В., Шведов К. К., Афанасенков А. Н.** Метод определения критического диаметра и критической скорости детонации промышленных ВВ // Методы испытаний низкочувствительных ВВ: Сб. Черногоровка: ОИХФ АН СССР, 1991. С. 40–49.
15. **Лавров В. В., Афанасенков А. Н., Шведов К. К., Кукиб Б. Н.** Метод определения критического диаметра и скорости детонации промышленных ВВ // Горн. журн. 1998. № 3. С. 38–39.
16. **Шукин Ю. Г., Софронов А. В.** Интенсификация отбойки и выпуска зависшей руды. М.: Недра, 1981.
17. **Перечень** рекомендуемых промышленных взрывчатых материалов, приборов взрывания и контроля. М.: Недра, 1987.
18. **Авакян Г. А., Дубнов Л. В., Мельников А. А., Ким Ю. М.** Об экспериментальных и расчетных методах оценки работоспособности (фугасности) взрывчатых веществ // Взрывное дело. № 80/37. М.: Недра, 1978. С. 22–29.

Поступила в редакцию 24/VII 2002 г.
