

УДК 622.235.2

Канд.техн.наук КАЛЯКИН С.А. (ДонНТУ)

## О ВЛИЯНИИ ЭНЕРГИИ, ПЕРЕДАВАЕМОЙ ПРИ ВЗРЫВЕ ВВ В УДАРНУЮ ВОЛНУ НА ЕГО ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНОСТЬ

Актуальность работы обусловлена тем, что взрывные работы в угольных шахтах являются довольно распространенной технологической операцией. Применение взрывчатых веществ (ВВ) при взрывных работах осложняется тем, что в горных выработках где они проводятся имеется выделение метана и возможно образование взрывоопасных смесей метана и угольной пыли с воздухом. Поэтому необходимо применение в этих условиях специальных предохранительных ВВ. Однако обеспечить полностью безопасность взрывных работ в угольных шахтах пока не удастся. Это заставляет горнотехническую инспекцию ограничивать применение ВВ в опасных условиях угольных шахт. Вместе с тем возникает безусловная необходимость в разработке предохранительных ВВ для их применения в наиболее опасных условиях угольных шахт. Создание таких ВВ невозможно без выяснения механизма воспламенения метано-воздушных смесей (МВС) при взрыве в них зарядов предохранительных ВВ.

Анализ последних исследований, посвященных выяснению механизма воспламенения метано-воздушных смесей взрывом в них открытых зарядов предохранительных ВВ показал следующие. При взрыве заряда ВВ по окружающей его газовой среде распространяется ударная волна, температура газа во фронте которой намного превышает его начальную температуру, а также температуру продуктов взрыва ВВ. Поэтому воспламенение взрывчатой газовой смеси при сжатии ее во фронте ударной волны более вероятно, чем при смешении смеси с быстроостывающими продуктами взрыва ВВ. К такому выводу пришли Дж. Тейлор и Б.Н. Кукиб [1]. При этом они предполагают, что 90% от общей энергии взрыва ВВ переходит в ударную волну, возникающую в газовой среде вокруг заряда. Таким образом, подавляющая часть энергии взрыва ВВ переходит в среду окружающую заряд. В монографии посвященной физике взрыва [2] Ф.А. Баум дает расчет необходимый при оценке величины энергии передающейся в ударную волну при взрыве в воздухе открытого заряда ВВ. Однако при разработке предохранительных ВВ оказалось необходимым знать какое количество энергии выделяется в результате химической реакции в детонационной волне —  $E_1$  и количество энергии, выделяемое при взрыве ВВ за детонационной волной —  $E_2$ . Чтобы характеризовать величину отношения  $E_1/E_2$  введено понятие — селективность детонации ВВ. По сути селективность детонации ВВ характеризует какое количество энергии при взрыве выделяется во фронте детонационной волны по отношению к общей энергии взрыва ВВ —  $E_0$ . При этом степень селективности детонации ВВ является величиной расчетной и достоверность ее зависит от точности оценки  $E_0$  и  $E_1$ . Поэтому согласно работы [3] показатель селективности определяется как отношение энергии —  $E_1$ , выделившееся в детонационной волне при взрыве открытого заряда, к расчетной теплоте взрыва ВВ, которая равна общей потенциальной энергии взрыва —  $E_0$ , т.е.

$$n = \frac{E_1}{E_0}.$$

Рядом ученых показатель селективности детонации ВВ рассматривается как один из способов оценки полноты взрыва открытого заряда ВВ и следовательно он является одним из факторов характеризующих величину передачи энергии в ударную волну. В связи с этим эти ученые связывают величину показателя селективности детонации ВВ с его предохранительными свойствами при взрыве заряда в МВС. Вместе с

тем количество энергии —  $E_2$ , «застрявшее» в продуктах взрыва за фронтом детонационной волны считается, что на предохранительные свойства открытого заряда ВВ, взрываемого в МВС не влияет. Недостаточность в изученности этого вопроса вполне очевидна и требует дальнейшего исследования. При этом необходимо точно установить какое количество энергии при взрыве заряда ВВ передается в ударную волну и какое количество энергии выделяется во фронте детонационной волны.

Целью настоящей работы являются экспериментальные исследования по определению влияния условий и факторов взрыва заряда ВВ на величину энергии передаваемой в ударную волну и установление взаимосвязи между предохранительными свойствами ВВ и величиной этой энергии.

Экспериментальная работа основана на применении энергетического закона подобия при взрыве, который развит в работах советских академиков Л.И.Седова и М.А.Садовского. Энергетический закон можно применить не только для сравнения зарядов разных ВВ, но также для сравнения взрывов существенно разной природы. Для успешного сравнения этих взрывов достаточно знать выделившуюся в каждом случае энергию  $E$ . Ими был установлен основной параметр закона подобия в виде  $\sqrt[3]{\frac{E}{R}}$ . В дан-

ный параметр  $\sqrt[3]{\frac{E}{R}}$  должна входить не полная энергия взрыва ВВ  $E_0$ , а энергия которая передается в ударную волну взрывчатым веществом.

Основной характеристикой определяющей фазу сжатия и действие, является избыточное давление на фронте ударной волны —  $\Delta P$ . Если необходимо определить, какое  $\Delta P$  будет наблюдаться на расстоянии  $R$ , то согласно энергетического закона подобия при взрыве получим:

$$\Delta P = f\left(\sqrt[3]{\frac{E}{R}}\right), \quad (1)$$

где вид функции  $f$  должен быть установлен из опыта. Опытные замеры давления во фронте ударных волн производились с помощью пьезоэлектрических и емкостных датчиков давления. В МакНИИ В.С. Матюниным впервые были применены сегнетокерамические емкостные датчики, основанные на изменении диэлектрической проницаемости при приложении к ним механической нагрузки [4]. Сегнетокерамический емкостный датчик давления изготовлен из твердого раствора титанита бария. В дальнейшем с помощью разработанного комплекса измерительной аппаратуры В.М.Расторгуевым в опытном штреке МакНИИ были измерены избыточные давления во фронте ударной волны, полученной при взрыве открытых зарядов из ВВ с различным уровнем предохранительности и энергии взрыва [5]. Академик М.А.Садовский, используя большой экспериментальный материал по определению избыточного давления на фронте ударной волны при взрывании открытых зарядов тротила, установил вид функции в уравнении (1):

$$\Delta P = 0,84 \frac{m^{1/3}}{R} + 2,7 \frac{m^{2/3}}{R^2} + 7 \frac{m}{R^3}, \text{ кг/см}^2. \quad (2)$$

Если в уравнение (2) ввести показатель, учитывающий изменение количества энергии передаваемой в ударную волну от заряда ВВ, относительно энергии передаваемой взрывом заряда тротила и равный  $\alpha = E/E_{\text{тротил}}$ , то получим следующее уравнение:

$$\Delta P = 0,84 \left(\frac{E}{E_{\text{тротил}}}\right)^{1/3} \cdot \frac{m^{1/3}}{R} + 2,7 \left(\frac{E}{E_{\text{тротил}}}\right)^{2/3} \cdot \frac{m^{2/3}}{R^2} + 7 \left(\frac{E}{E_{\text{тротил}}}\right) \frac{m}{R}. \quad (3)$$

Подставим в уравнение (3) значения показателей  $m$  — массы заряда (кг) и  $R$  — расстояния от центра заряда до датчика измерения давления (м), которые использованы В.М. Расторгуевым в своей работе [5], то получим: для  $m=0,2$  кг и  $R=1,5$  м.

$$\Delta P = 0,328\alpha^{1/3} + 0,410\alpha^{2/3} + 0,415\alpha,$$

произведем замену переменной  $\alpha = \beta^3$  получим кубическое уравнение:

$$\beta^3 + 0,988\beta^2 + 0,79\beta - 2,41\Delta P = 0. \quad (4)$$

Уравнение (4) для заряда тротила  $m=0,2$  кг дает значение  $\Delta P = 1,153$  кг/см<sup>2</sup> и  $\beta = 1$ . Опытное значение полученное прямым измерением при взрыве  $\Delta P = 1,15$  кг/см<sup>2</sup>, т.е. закон энергетического подобия для зарядов тротила выполняется. Результаты расчетов  $\alpha$  и  $\beta$  по уравнению (4) сведены в табл. 1.

**Табл. 1.** Расчет показателей  $\alpha$  и  $\beta$  для ВВ по измеренному избыточному давлению во фронте ударной волны

ВВ	Масса ( $m$ ) заряда, кг	Расстояние ( $R$ ), м	Избыточное давление $\Delta P$ , кг/см <sup>2</sup>	Значения энергетических показателей относительно тротила	
				$\beta$	$\alpha$
1	2	3	4	5	6
Тротил	0,2	1,5	1,15	1,0	1,0
Аммонал скальный № 1	0,2	1,5	1,35	1,059	1,187
Детонит 10А	0,2	1,5	1,20	1,02	1,06
Аммонит № 6 ЖВ	0,2	1,5	1,00	0,933	0,813
Аммонит ПЖВ-20	0,2	1,5	0,87	0,871	0,660
Угленит Э-6	0,2	1,5	0,520	0,664	0,293
Угленит № 5	0,2	1,5	0,340	0,520	0,141
Угленит 7	0,2	1,5	0,40	0,573	0,188
Победит ВП-4	0,2	1,5	0,94	0,905	0,741

Результаты расчетов по экспериментальным данным позволяют достаточно точно рассчитать показатель  $\alpha = \frac{E}{E_{\text{ТНТ}}}$ , который показывает какое количество энергии при

взрыве передается в ударную волну относительно энергии передаваемой зарядом тротила. При этом если  $\alpha > 1$ , то количество передаваемой энергии в ударную волну больше, чем у тротила, если  $\alpha < 1$ , то соответственно меньше. Таким образом, необходимо определить величину энергии передаваемую в ударную волну зарядом тротила. Зная эту величину, можно будет определить энергию, передаваемую в ударную волну другими ВВ. В работе [6] приведены результаты экспериментальной работы по определению конечного состава продуктов взрыва и удельной теплоты взрыва ВВ. Взрывание литых зарядов тротила в герметичной камере, отбор проб и их анализ позволил определить удельную теплоту взрыва тротила. В табл. 2 приведены результаты расчетов энергии передаваемой взрывом ВВ в ударную волну.

Приведенные в табл. 2 результаты расчетов величины энергии, передаваемой в ударную волну при взрыве зарядов ВВ в зависимости от их уровня предохранительности показывает следующее. Предохранительные ВВ III и IV класса передают около 90%

энергии в ударную волну и выводы сделанные в работах [1, 2] вполне правомочны. При этом фактически нет принципиальной разницы между непреходимыми ВВ I и II класса и ПВВ III-IV классов. Однако при рассмотрении ПВВ V и VI класса выявлена существенная разница в величинах передаваемой в ударную волну энергии взрыва по сравнению с другими ВВ. Так ПВВ V и VI класса передают около 50% энергии в ударную волну, тогда как остальная энергия «застреет» в продуктах взрыва этих ВВ. Поэтому необходимо проанализировать рассмотренные ВВ, на наличие связи между их уровнем предохранительных свойств и способностью передавать при взрыве энергию в ударную волну. Результаты этого анализа сведены в табл. 3.

**Табл. 2.** Расчет энергии передаваемой взрывом заряда ВВ в ударную волну

ВВ	Скорость детонации заряда ВВ, м/с	$\alpha$	Энергия передаваемая во фронт УВ, $E_{\phi}$ , кДж/кг	Энергия во фронте детонационной волны, $E_1$ , кДж/кг	Потенциальная энергия взрыва ВВ, $E_0$ , кДж/кг	$E_{\phi}/E_0$
Тротил	6800	1,0	4665,2	3853,6	5430,0	0,859
Аммонал скальный № 1	6600	1,187	5537,6	3630,2	5710,7	0,967
Детонит 10А	5300	1,06	4945,1	2340,9	5104,5	0,968
Аммонит № 6 ЖВ	4000	0,813	3792,8	1333,4	4284,4	0,885
Аммонит ПЖВ-20	4000	0,66	3079,0	1333,4	3373,1	0,913
Угленит Э-6	2200	0,293	1366,9	403,3	2610,8	0,523
Угленит № 5	1850	0,141	657,8	285,2	1235,9	0,532
Угленит	1800	0,188	877,06	270,0	1885,7	0,465
Победит ВП-4	4200	0,741	3456,9	1470,1	3830,8	0,902

**Табл. 3.** Анализ предохранительных ВВ, на установление связи между их предохранительными свойствами и величиной энергии передаваемой в ударную волну

ВВ	Класс ВВ	Предельный открытый в МВС заряд ВВ, кг, $M_{np}$	$E_{\phi}$ , кДж/кг	$E_1$ , кДж/кг	$E_{\phi}/E_0$	$E_1/E_0$	$M_{np} \times E_{\phi}$ , кДж
Аммонит 6ЖВ	II	0,005	3792,8	1333,4	0,885	0,311	18,96
Победит ВП-4	III	0,010—0,020	3456,9	1470,1	0,902	0,384	41,48
Аммонит ПЖВ-20	IV	0,020-0,025	3079,0	1333,4	0,913	0,395	69,28
Угленит Э-6	V	0,25-0,3	1366,9	403,3	0,523	0,154	375,9
Угленит № 5	V	0,75	657,8	285,2	0,532	0,231	493,35
Угленит 7	VI	1,0	877,06	270,0	0,465	0,143	877,06

Математическая обработка данных, приведенных в табл. 3 позволила установить следующие зависимости влияния на предохранительные свойства ВВ, выделяющейся при его детонации энергии или энергии передающейся в ударную волну распространяющейся по газообразной среде окружающей заряд.

Зависимость  $M_{np}$  — предельного заряда, при котором в МВС еще не возникают воспламенения от взрыва открытого заряда ВВ, от энергии  $E_{\phi}$  имеет вид:

$$M_{np} = (0,975 + 4,3226 \cdot 10^{-5} \cdot E_{\phi})^{\frac{1}{0,037065}}, \text{ кг} \quad (5)$$

коэффициент корреляции  $|r|=0,926$ , среднеквадратичное отклонение  $s=0,2096$ .

Зависимость  $M_{np}$  от энергии детонации  $E_1$  имеет следующий вид:

$$M_{np} = \frac{1}{(0,004961 \cdot E_1^{1,219545} - 3,5784)}, \text{ кг} \quad (6)$$

коэффициент корреляции  $|r|=0,999$ , среднеквадратичное отклонение  $s=0,0247$ .

Сравнение зависимостей (5) и (6) показывает, что влияние энергии, выделяющейся во фронте детонационной волны  $E_1$ , оказывает более сильное изменение предохранительных свойств ВВ — коэффициент корреляции значительно выше, а среднеквадратичное отклонение значений эмпирической зависимости (6) от фактических почти на порядок меньше чем у зависимости (5). Поэтому влияние энергии передаваемой при взрыве ВВ в ударную волну на предохранительные свойства ВВ значительно слабее. В связи с этим роль ударной волны в механизме воспламенения МВС от детонирующего заряда ВВ несколько преувеличена Дж. Тейлором и Б.Н. Кукибом. Повидемому ее влияние обусловлено усилением действия потока продуктов реакции на развивающейся очаг воспламенения МВС и во влечение его в движение. Весьма показательным в этом случае выглядит произведение массы предельного заряда ВВ на величину энергии, которое передается им в ударную волну. С увеличением предохранительных свойств ВВ величина этого произведения растет, т.е. параметры ударной волны требуются для воспламенения МВС все более высокие, чем у менее предохранительного ВВ. Это может быть объяснено только в случае, когда расширяющиеся продукты взрыва ВВ флегматизируют ударносжатую МВС за фронтом ударной волны. И для того, чтобы флегматизирующее действие продуктов взрыва преодолеть необходимо значительно увеличить радиус действия ударной волны в МВС, т.е. как можно больше усилить действие потока продуктов взрыва ВВ и реагирующей смеси метана с воздухом.

### Выводы

1. Установлено количество энергии передаваемое различными ВВ при взрыве их открытых зарядов в ударную волну.
2. Сравнение величины энергии передаваемой ВВ в ударную волну с величиной энергии выделяющейся во фронте детонации показало, что величина  $E_{\phi} > E_1$ .
3. Выявлено более сильное влияние на предохранительные свойства величины энергии  $E_1$  чем  $E_{\phi}$ . Получены эмпирические зависимости описывающие величину предельного заряда невоспламеняющую МВС от значений энергии  $E_{\phi}$  и  $E_1$ .
4. Доказано, что роль волн в процессе воспламенения МВС является второстепенной после продуктов детонации, которые характеризуются энергией, выделяющейся во фронте детонационной волны.

Дальнейшие исследования необходимо проводить в направлении изучения роли ингибитора в продуктах детонации ВВ на процесс воспламенения МВС, а также в изучении законов распространения ударных волн от поверхности заряда ВВ до критических расстояний, характеризующих зону воспламенения МВС при взрыве в ней открытых зарядов.

### Библиографический список

1. Кукиб Б.Н., Росси Б.Д. Высокопредохранительные взрывчатые вещества. — М.: Недра, 1980. — 174 с.
2. Физика взрыва / Под общ. ред. К.П. Станюковича. — М.: Наука, 1975. — 704 с.

3. Хотин В.Г., Пономарев В.А., Бачурин С.П. Метод оценки степени селективности предохранительных взрывчатых веществ. — В кн.: Взрывное дело, 78/35. — М.: Недра, 1977. — С. 157–162.

4. Матюнин В.С. Исследование процессов, протекающих при взрыве в массиве, и их влияния на безопасность короткозамедленного взрывания в шахтах, опасных по газу или пыли: Автореферат дисс... канд. техн. наук: 313. — Донецк, 1969. — 28 с.

5. Расторгуев В.М. Исследование и разработка способа сравнительной оценки предохранительных свойств взрывчатых веществ: Автореферат дисс... канд. техн. наук: 05.15.02. — Москва, 1974. — 13 с.

6. Калякин С.А., Шевцов Н.Р. Влияние условий гидровзрывания на энергетические показатели и работоспособность взрывчатых веществ // Проблемы горного давления. — Донецк: ДонНТУ, 2002. — № 8. — С. 116–145.

© Калякин С.А., 2005

УДК 622.235.

Канд. техн. наук МАНЖОС Ю.В., инж. ТЕРЕНТЬЕВА Л.Н. (МакНИИ), инж. БУНИН А.Б., (ШКЗ «Импульс»), инж. ГАЛИАКБЕРОВА Ф.Н., студ. ГОРШКОВ С.С. (ДонНТУ)

## **О ВОЗДЕЙСТВИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ НА ПРОМЫШЛЕННЫЕ ЭЛЕКТРОДЕТОНАТОРЫ В УПАКОВКЕ**

В настоящее время промышленные электродетонаторы (ЭД) транспортируют и хранят в заводской упаковке.

Упаковка отечественного производства состоит из древесно-крагисного ящика, картонных коробок и металлической коробки, служащей защитным экраном в случае воздействия на ЭД электромагнитных излучений (радио и теле передатчики, грозовые разряды, электрическая дуга и др.).

Фирмы дальнего зарубежья, такие как «Остин детонатор» (Чехия), «Шаффлер» (Австрия), «Динамит Нобель АГ» (Германия) и др. используют упаковку ЭД, состоящую из картонных коробок и картонного ящика, не применяя при этом металлическую коробку — экран; а в отдельных случаях в качестве экрана они помещают ЭД с выводными проводами в пакет из металлизированной пленки.

Учитывая многолетний опыт транспортирования ЭД в картонной упаковке без металлической (экрана) фирмами дальнего зарубежья, перечисленными выше, было принято решение: изучить возможность использования аналогичной упаковки для транспортирования и хранения промышленных ЭД отечественного производства.

Целью работы является установление возможности транспортирования и хранения промышленных ЭД в упаковке без металлических коробок-экранов.

Задачи исследований следующие:

— установление зависимости величины наводимой ЭДС в электрической цепи ЭД от расстояния между ним и источником излучения расчетным путем;

— проведение испытаний на воспламеняемость электровоспламенителей от электромагнитных излучений в различных условиях (видов защиты ЭД от электромагнитных излучений);

— обоснование безопасных (в отношении токов наводки) условий транспортирования промышленных ЭД в упаковке без металлических экранов.

Согласно сведениям, представленным Украинским государственным центром радиочастот, мощность излучения гражданских передающих объектов не превышает 100 кВт. Исходя из этой величины определим напряженность поля в непосредственной близости от антенны излучателя.