

О снижении вероятности взрывов и вспышек метановоздушной смеси при
взрывных работах

Государственный Макеевский научно-исследовательский институт по безопасности работ в горной промышленности (МакНИИ), 86108, Украина, г.Макеевка, ул. Лихачева, 60

Одной из причин воспламенения метановоздушной смеси (МВС) при взрывных работах в угольных шахтах является выгорание шпуровых зарядов предохранительных взрывчатых веществ (ПВВ). Как показывает анализ, выгорания являются причиной 30% взрывов и вспышек МВС, происходящих при взрывных работах.

Проблемой борьбы с выгораниями шпуровых зарядов ВВ на протяжении многих лет занимались ученые как нашей страны [1, 2, 3] так и за рубежом [4, 5, 6]. В работах последних лет [7, 8] показано, что основным источником поджигания зарядов ВВ в шпурах служит электродетонатор (ЭД). Показано также, что одним из основных направлений предотвращения выгораний является повышение устойчивости ПВВ к выгоранию (снижение их поджигаемости). Такой путь в настоящее время признан наиболее целесообразным во всех странах мира. Все современные предохранительные взрывчатые вещества должны быть устойчивыми к выгоранию. Известно, что повышение устойчивости ПВВ к выгоранию приводит к снижению его детонационных свойств. Следовательно, уменьшать горючесть ПВВ можно не беспредельно, а необходимо найти ту грань, когда ВВ уже перестает поджигаться, но еще в состоянии устойчиво детонировать.

Для разработки новых ПВВ необходимо знать поджигающие параметры, воздействующие на ПВВ – давление и температуру источника поджигания.

Выше было сказано, что основным источником поджигания шпуровых зарядов ВВ может быть ЭД. Причем наибольшая вероятность выгорания реализуется, когда ЭД имеет определенный дефект [7, 8]. Поэтому необходимо знать поджигающие параметры дефектных ЭД.

В работе [8] было показано, что выгорание ЭД и поджигание от него ПВВ может произойти в том случае, если у ЭД отсутствует первичный заряд (азид свинца) или масса этого заряда недостаточна для инициирования вторичного заряда.

Рассмотрим наиболее вероятную модель взаимодействия выгорающего ЭД и окружающего его ПВВ. В момент времени τ_0 происходит отказ первичного заряда и, в результате прогрева продуктами сгорания воспламенителя и замедляющего состава, происходит поджигание вторичного заряда. При этом горение вторичного заряда происходит с выделением энергии и газообразных продуктов.

$$qp = \sum mi * Ei, \quad (1)$$

где q_p – выделившаяся энергия;

mi – масса сгоревшей части и вещества;

Ei – удельная энергия горения и вещества.

Параметры состояния τ_0 продуктов составят P_1 и T_1 . В следующий промежуток времени $\tau_1 = \tau_0 + \Delta\tau$ продукты горения производят работу по разрушению гильзы ЭД. Давление разрушения гильзы, рассчитанное по ее размерам и свойствам материала, равняется 50 МПа.

В момент времени τ_1 продукты горения начинают быстро расширяться, их температура и давление снижаются и с окружающим ПВВ они контактируют с воспламеняющими параметрами P_2 и T_2 .

Если при этом выполняется условие:

$$\begin{aligned} P_2 &\geq P_{\text{восплПВВ}}, \\ T_2 &\geq T_{\text{восплПВВ}}, \end{aligned} \quad (2)$$

то на момент времени τ_2 возникает горение ПВВ, характеризующееся некоторой скоростью горения U_2 . Если в результате теплообмена между ПВВ и окружающей средой, толщина горящего слоя ПВВ окажется достаточной для поддержания реакции горения, то происходит выгорание патрона ПВВ. Если условия (2) не реализуются или толщина прогретого слоя ПВВ окажется недостаточной то выгорания патрона – боевика не произойдет.

Рассмотрим изменение параметров состояния системы как функцию времени:

$$\begin{aligned} P &= f(\tau); \\ T &= f(\tau). \end{aligned}$$

Процесс горения в промежуток времени $\tau_1 = \tau_0 + \Delta\tau$, т.е. в то время, когда продукты горения совершают работу по разрушению гильзы, представляет собой изобарный процесс. Давление в системе будет равно давлению деформации гильзы $P_1 = P_{\text{разр.}} = \text{const}$. Выделяющееся в процессе горения тепло идет на изменение энтальпии системы – ВВ электродетонатора – оболочка ЭД (гильза). Это изменение можно записать в виде:

$$dq_p = di - v dP, \quad (3)$$

если $dP = 0$, то $dq_p = di$.

Для ЭД q_p равно сумме теплот сгорания воспламенителя, замедляющего состава и части гексогена.

Часть q_p расходуется на разрушение гильзы. Работа разрушения равна:

$$dA = P_1 * dV. \quad (4)$$

Зная массу сгоревшего гексогена, воспламенителя и замедляющего состава можно определить начальные параметры состояния продуктов сгорания на момент τ_1 .

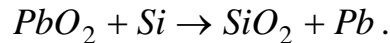
$$dT = \frac{dq_p}{dC_p},$$

$$P_2 = P_0 \left(\frac{T_2}{T_0} \right)^{\kappa - 1}, \text{ МПа},$$

где k - соотношение теплоемкостей C_p и C_v .

Для того чтобы рассчитать указанные параметры для электродетонатора типа ЭДКЗ – ПМ, необходимо вычислить теплоту сгорания замедляющего и зажигательного составов. Эта теплота зависит от серии замедления ЭД.

Реакция сгорания замедляющего состава ЭД:



В замедляющем составе ЭД кремний находится в избытке, следовательно, для расчета можно принять, что прореагирует 1 граммолекула PbO_2 . Теплоты образования компонентов реакции составляют:

$$Q_{обр} SiO_2 = 911,3 \text{ кДж / моль},$$

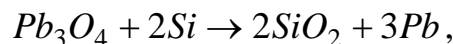
$$Q_{обр} PbO_2 = 270,5 \text{ кДж / моль},$$

$$Q_{обр} Pb_3O_4 = 747,1 \text{ кДж / моль}.$$

В результате приведенной реакции образуется:

$$q_6 = (Q_{обр} SiO_2 - Q_{обр} PbO_2) = 648,8 \text{ кДж / моль}.$$

Для реакции зажигательного состава:



$$q_6 = (Q_{обр} 2SiO_2 - Q_{обр} Pb_3O_4) = 1075,5 \text{ кДж / моль}.$$

Из приведенных выше реакций горения, по составу и весу зажигательного и замедляющего составов в ЭД, рассчитаны величины энергии, выделяющейся при сгорании этих составов. Результаты расчетов приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Время замедления	Состав		Масса, гр.	Энергия состава, Дж	Энергия в 1 зам сост. Дж
	Компонент	%			
1	2	3	4	5	6
15	Si	60	0,08 – 0,18	128,13-288,27	128,13-288,27
	PbO ₂	40			
30	Si	45	0,15 – 0,25	107,26 – 179,04	107,26-179,04
	Pb ₂ O ₃	55			
45	Si	45	0,2 – 0,35	143,30 – 250,98	143,30-250,98
	Pb ₂ O ₃	55			
60	Si	40	0,04 – 0,06	42,57 - 63,86	163,24-326,57
	PbO ₂	60			
	Si	50	0,12 – 0,33	120,67-262,71	
	Pb ₂ O ₄	50			
80	Si	40	0,04 – 0,06	42,57-63,86	138,10-302,69
	PbO ₂	60			
	Si	50	0,12 – 0,3	95,53-238,83	
	Pb ₃ O ₄	50			

1	2	3	4	5	6
100	Si PbO ₂	40 60	0,04 – 0,06	42,57-63,86	161,99-302,60
	Si Pb ₃ O ₄	50 50	0,15 – 0,3	119,13-238,75	
120	Si PbO ₂	40 60	0,04 – 0,06	42,57-63,86	241,51-381,88
	Si Pb ₃ O ₄	50 50	0,25 – 0,4	198,94-318,02	

Из таблицы видно, что энергия, отдаваемая воспламенителем и замедляющим составом, колеблется в пределах 107,26 – 381,88 Дж – для ЭД различных серий и партий, с учетом разброса массы замедляющего и воспламеняющего составов.

Как было показано выше, для разрыва гильзы ЭД сгорает 0,1060 г гексогена. При сгорании такого количества гексогена выделяется 540 Дж энергии. Следовательно, общее количество энергии, выделяемое при сгорании компонентов ЭД, на момент разрыва гильзы, составит 647 – 922 Дж.

Работу разрыва гильзы ЭД, можно определить из выражения (4) $dA = P_1 * dV$,

$$A = P_1 \frac{4}{3} \pi (R_r^3 - R_{ЭД}^3),$$

где $R_r - R_{ЭД}$ – приращение радиуса Δr на момент разрыва гильзы.

По измерениям деформированных ЭД определили, что приращение радиуса на момент разрыва гильзы у всех ЭД приблизительно равны и составляют 3,6 мм. Тогда энергия, затраченная на разрушение гильзы ЭД составит:

$$q = \frac{A}{J}, \text{ Дж},$$

где J – механический эквивалент тепла = 101,91 кгм/Дж

Тогда $q_p = 498,44$ Дж

Следовательно, на момент разрыва гильзы продукты сгорания ЭД будут обладать энергией от 149 до 424 Дж. Отсюда можно определить поджигающие параметры выгорающего ЭД.

$$T = \frac{q}{c}, \text{ } ^\circ K, \quad (7)$$

где q – количество тепла, содержащееся в продуктах горения на момент разрыва гильзы;

c – теплоемкость продуктов сгорания компонентов электродетонатора.

Теплоемкость продуктов сгорания сложится из суммы теплоемкостей продуктов сгорания воспламеняющегося состава, замедляющего состава и сгоревшей части вторичного заряда. Для случая, когда в выгорающем ЭД выделяется минимальное количество энергии (647) Дж.

Уравнения реакций горения запишутся:

$$4,77 \cdot 10^{-4} C_3H_6N_6O_6 \rightarrow 1,43 \cdot 10^{-3} H_2O + 1,43 \cdot 10^{-3} CO + 1,43 \cdot 10^{-3} N_2$$

$$9,85 \cdot 10^{-5} Pb_3O_4 + 2,94 \cdot 10^{-3} Si \rightarrow 1,97 \cdot 10^{-4} SiO_2 + 2,955 \cdot 10^{-4} Pb + 2,74 \cdot 10^{-3} Si.$$

Общая сумма теплоемкостей для продуктов этих реакций составит: $\Sigma 4,85 \cdot 10^2$

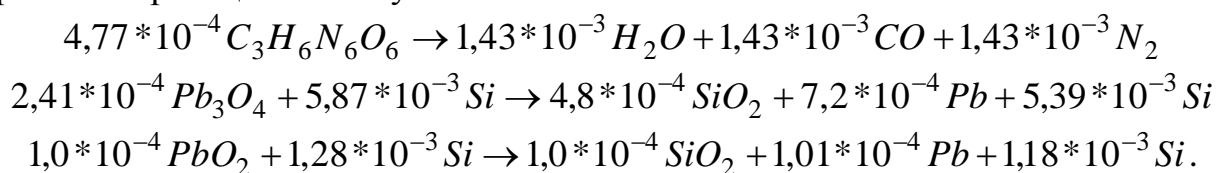
$$T = \frac{q}{c} = 733^\circ K.$$

Давление, на момент разрыва гильзы определяется из соотношения:

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}, \quad P_2 = 8,86 \text{ МПа.}$$

2. Для случая, когда в выгорающем ЭД выделяется 922 Дж.

Уравнения реакции запишутся:



Общая сумма теплоемкости продуктов реакции составит $7,622 \cdot 10^2$.

Температура продуктов сгорания элементов состава ЭД на момент разрыва гильзы, будет равна: $T_2 = 1328^\circ K$.

Давление, на момент разрыва гильзы: $P_2 = 16,05 \text{ МПа}$.

Таким образом приведенный расчет показывает, что на ПВВ патрона боевика в котором находится дефектный ЭД воздействуют продукты сгорания ЭД с довольно высокими поджигающими параметрами, а именно с давлением от 8,86 до 16,05 МПа и температурой от $733^\circ K$ до $1328^\circ K$.

Полученные в данной работе значения поджигающих параметров выгорающего ЭД, которые воздействуют на патрон-боевик, (температура и давление) могут быть использованы в дальнейшем, при разработке ПВВ, устойчивых против выгорания.

Перечень ссылок

1. Галаджий Ф.М., Бондаренко В.Н. Определение склонности предохранительных ВВ к поджиганию от взрывного импульса.//Сб. «Взрывное дело» №68/25. М.: Недра, 1970.– С. 131–134.
2. Дубнов Л.В., Романов А.И. О выгорании предохранительных ВВ в угольных шахтах// Безопасность труда в промышленности.- 1962. №10 – С.20–25.
3. Галаджий Ф.М. О причинах выгорания предохранительных ВВ в шпурах// Сб. «Взрывное дело», № 44/1. М.: Госгортехиздат,1960. - С.144–158.
4. Бигур Ж., Дангрео Ж. Дефлаграция взрывчатых веществ и воспламенение рудничного газа. Материалы XV Международной конференции НИИ по безопасности работ в горной промышленности. Карловы Вары (ЧССР). –1973. – С.262-291. Перевод МакНИИ №3802. –25с.
5. R. Sartorius. Deflagration in the blasting operations on coal mines. Revue de l'Industrie Minerale. № 621,1955.
6. Аренс Х. Новые взрывчатые вещества и их применение// Glukauf, №22,

1974.- С.31–36.

7. В.И. Зенин, Ю.В. Манжос. Исследование путей предотвращения выгораний предохранительных ВВ. // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах / Сб. научных трудов МакНИИ. – Макеевка-Донбасс, – 1996, – С.163 – 172.

8. Зенин В.И., Манжос Ю.В. Поджигание ВВ дефектными электродетонаторами // Способы безопасного ведения взрывных работ и борьба с выбросами в угольных шахтах / Сб. научных трудов МакНИИ. – Макеевка-Донбасс – 1981. – С. 10 – 11.