

УДК 622.812.2:622.235

С. А. Калякин

ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», Донецк, Украина

Обоснование безопасности применения предохранительных ВВ при взрывных работах в угольных шахтах

Взрывной способ разрушения горных пород в угольных шахтах является самым эффективным. Для его осуществления применяются только предохранительные взрывчатые вещества (ВВ). Вместе с тем в угольных шахтах при производстве взрывных работ иногда происходят аварии, связанные с воспламенением взрывоопасной среды в забоях горных выработок. Это связано с тем, что иногда невозможно в силу проявления человеческого фактора точно установить степень опасности забоя при применении того или иного класса предохранительного ВВ. В статье дано обоснование безопасности применения ВВ при взрывных работах в зависимости от их класса предохранительности.

Ключевые слова: взрывчатые вещества, аварии, безопасность.

Введение. При взрывных работах в угольных шахтах, опасных по газу применяются только предохранительные ВВ. Их отличительной особенностью от известных не предохранительных ВВ является то, что они обладают определенным уровнем предохранительных свойств по отношению к взрывоопасной среде и устойчивостью ВВ к выгоранию. В зависимости от уровня предохранительных свойств, ПВВ разделены на классы по условиям применения. Обоснование безопасного применения ПВВ при взрывных работах в угольных шахтах является важной задачей при обеспечении охраны труда шахтеров.

Анализ последних исследований и публикаций показал, что применение ПВВ в угольных шахтах должно быть строго регламентировано в зависимости от степени опасности забоев горных выработок. При этом должно соблюдаться условие обеспечения безопасности применения ПВВ, когда его предельный заряд во взрывоопасной среде должен быть не меньше величины шпурового заряда при взрывных работах. В этом случае величина шпурового заряда при взрывных работах определяется, не только в зависимости от крепости горных пород, но и степени опасности забоя горной выработки по метану и угольной пыли. Таким образом возникновение аварийной ситуации в забое горной выработки при взрывных работах может быть предотвращено необходимым уровнем предохранительных свойств ВВ. Решение этой проблемы при обеспечении безопасности взрывных работ зависит от достаточности предохранительных свойств ВВ, в той или иной аварийной ситуации.

Целью работы является обоснование безопасности применения ПВВ при взрывных работах в угольных шахтах, в случае проявления тех или иных аварийных ситуаций в забоях горных выработок, опасных по газу и взрывам угольной пыли.

Материалы исследований. Ранее проведенные исследования [1] позволили установить, что ПВВ имеет уровень предохранительных свойств, зависящий от параметров детонационной способности и взрывчатых свойств ВВ. Оценивают уровень предохранительных свойств ВВ величиной массы предельного заряда M_{np} . Следовательно, масса предельного заряда ВВ определяется взрывотехническими факторами – x_i :

$$M_{np} = F(x_1; x_2; x_3; \dots; x_{n-1}; x_n)$$

При взрывных работах в угольных шахтах применение ВВ связано с взрыванием шпуровых зарядов, масса которых определяется взрывотехническими факторами ВВ и горно-геологическими факторами массива y_i . Масса шпурового заряда ВВ определяется как функция:

$$m_{BB} = F(x_1; \dots; x_n; y_1; y_2; \dots; y_{n-1}; y_n)$$

Критерий антигрозутности заряда ПВВ – $A_i(m_{BB})$ определяет безопасность его применения, если:

$$A_i(m_{BB}) = \frac{m_{BB}[F(x_n; y_n)]}{M_{np}[F(x_n)]} \leq 1, \quad (1)$$

то есть масса предельного заряда ПВВ при взрывании должна быть не менее массы шпурового заряда.

Антигрозутность заряда ПВВ при взрывных работах в угольных шахтах зависит и от условий взрывания шпурового заряда и полноты детонации ВВ в шпуре. Следовательно, антигрозутность заряда ПВВ является функцией ряда факторов, определяющих условия его взрывания и возникновения опасных ситуаций – Z_y , и вероятности отказа и выгорания ВВ – Π_{BB} :

$$A(m_{BB}) = F(Z_y; \Pi_{BB}). \quad (2)$$

Таким образом, антигрозутность заряда ПВВ при взрывных работах является многофакторной функцией, зависящей от каждого фактора в отдельности:

$$A(m_{BB}) = F[A_1(m_{BB}); A_2(m_{BB}) \dots A_n(m_{BB})]. \quad (3)$$

Анализ этой функции антигрозутности заряда ПВВ и критических условий (1) для каждого фактора позволил выбрать наиболее опасные факторы, которые и определяют функцию антигрозутности заряда.

Опасными условиями взрывания заряда ВВ является взрывание без забойки в нарушенном массиве с системой трещин и отколов. В этом случае наиболее опасные будут у частично обнаженных зарядов и, наконец, самые опасные условия взрывания заряда ВВ в шпурах – когда возникает его отказ, поджигание ВВ и выгорание заряда. Таким образом, сравнительно простой анализ с помощью критерия (1) позволил установить вид комплексного критерия антигрозутности шпурового заряда ПВВ при взрывных работах:

$$A(m_{BB}) = F[A_1(m_{мор}), A_2(m_{yz}), A_3(\Pi_{BB})], \quad (4)$$

где $A_1(m_{мор})$ – антигрозутность при взрывании заряда ВВ без забойки в шпуре;
 $A_2(m_{yz})$ – антигрозутность при взрывании обнаженного заряда ВВ;
 $A_3(\Pi_{BB})$ – антигрозутность при выгорании заряда ВВ.

Заранее нельзя предполагать, как функция антигрозутности заряда ВВ реализуется при взрывных работах. Аналитическое представление связей в этой функции, а тем более распределение трех случайных величин становится слишком неопределенным и носит вероятностный характер. Три непрерывные случайные величины $A_1(m_{мор})$, $A_2(m_{yz})$ и $A_3(\Pi_{BB})$ имеют плотность совместного распределения – $A(m_{мор}, m_{yz}, \Pi_{BB})$. Тогда совместная функция плотности вероятности случайных величин A_1 , A_2 и A_3 определяется теоремой умножения их вероятностей и равна комплексному критерию антигрозутности шпурового заряда ПВВ:

$$A(m_{BB}) = F(m_{мор}, m_{yz}, \Pi_{BB}) = F(m_{мор}) \cdot F(m_{yz}) \cdot F(\Pi_{BB}). \quad (5)$$

Этот критерий показывает взаимодействие входящих в него показателей, которые характеризуют безопасность применения ПВВ. Он обладает теми же свойствами, что и критерий антигрозутности (1) для каждого показателя в отдельности. Тогда можно установить его интервал применимости:

$$0 \leq A(m_{BB}) \leq 1. \quad (6)$$

Нижняя граница комплексного показателя $A(m_{BB}) = 0$ показывает, что заряд ПВВ не обладает антигрозутностью, а верхняя – $A(m_{BB}) = 1$ наоборот, что антигрозутность его наивысшая.

Одним из наиболее удачных способов определения такого рода комплексного показателя с большим количеством взаимодействий входящих в него показателей является предложенная Харрингтоном обобщенная функция желательности [2]. В работе [3] эта же функция была использована для оценки применения ПВВ в угольных шахтах. В данном случае комплексный показатель антигрозутности заряда ПВВ полностью повторяет функцию желательности, для него также необходимо построение шкалы антигрозутности как безразмерного показателя для каждого потенциально опасного случая взрывания шпурового заряда или выгорания ПВВ. Для построения

шкалы антигризутности заряда удобно использовать метод количественных оценок, в котором оценки показателя желательной антигризутности заряда ПВВ находятся в интервале от нуля до единицы. Значение $A_i = 0$ соответствует абсолютно неприемлемому уровню антигризутности, а $A_i = 1$ – самому наилучшему значению, дальнейшее улучшение которого не возможно. Согласно работам [4,5], выбраны значения антигризутности заряда ПВВ для каждого показателя, характеризующего комплексный показатель:

$$A_1(m_{мор}) = \begin{cases} 0, & \text{если } m_{BB} > M_{np}, \\ 1, & \text{если } m_{BB} \leq M_{np} \end{cases}$$

$$A_2(m_{y2}) = \begin{cases} 0, & \text{если } m_{BB} > M_{np}, \\ 1, & \text{если } m_{BB} \leq M_{np} \end{cases}$$

$$A_3(\Pi_{BB}) = \begin{cases} 0, & \text{если } \Pi < \Pi_{50}, \\ 1, & \text{если } \Pi \geq \Pi_{50} \end{cases}$$

Промежуточные значения функции желательности антигризутности зарядов ПВВ следующие: 1,0...0,8 – очень хорошо; 0,8...0,63 – хорошо; 0,63...0,37 – удовлетворительно; 0,37...0,2 – плохо; 0,2...0,0 – очень плохо. Для односторонних ограничений вида $m_{BB} > M_{np}$ или $m_{BB} < M_{np}$ удобной формой преобразования служит экспоненциальная зависимость, которая описывает большинство физических процессов:

$$A(m_{BB}) = \exp[-\exp(-m_{BB}^1)], \quad (7)$$

где $m_{BB}^1 = \epsilon_0 + \epsilon_1 m_{BB}$.

Коэффициенты ϵ_0 и ϵ_1 можно определить, если задать для двух значений шкалы соответствующие значения желательности уровня предохранительных свойств ПВВ и его устойчивости против выгорания. Тогда решение системы уравнений для каждого уровня желательности позволяет определить коэффициенты ϵ_0 и ϵ_1 для любого показателя A_i . В табл. 1 приведены значения уровня предохранительности ПВВ для каждого показателя антигризутности заряда. Коэффициенты ϵ_0 и ϵ_1 определяем по данным таблицы. Подставляя в уравнение (7) значения A_i , получаем частные функции желательности показателя антигризутности A_i :

$$A_1(m_{мор}) = \exp[-\exp(2,452 - 3,2932m_{BB})], \quad (8)$$

$$A_2(m_{y2}) = \exp[-\exp(0,871 - 3,2932m_{BB})], \quad (9)$$

$$A_3(\Pi_{BB}) = \exp[-\exp(6,055 - 4,649\Pi_{50})]. \quad (10)$$

Таблица 1 – Уровень предохранительности ПВВ и желательность функции антигризутности заряда

Показатели ПВВ	$A_1(m_{мор})$		$A_2(m_{y2})$		$A_3(\Pi_{BB})$	
	заряд в канале мортиры (шпура)		обнаженный заряд		поджигаемость ПВВ, Π_{50}	
	хорошо	плохо	хорошо	плохо	хорошо	плохо
Уровень предохранительности ПВВ	1,2 кг	0,6 кг	0,6 кг	0,1 кг	1,625 г	1,2 г
Желательность функции антигризутности A_i	0,8	0,2	0,8	0,2	0,8	0,2

В табл. 1 для показателя « $A_1(m_{мор})$ – хорошо» принят заряд массой 1,2 кг: такой предельный заряд имеют ПВВ V класса при взрывании в комбинированной мортуре, и он эквивалентен по работоспособности заряду массой 0,9 кг для ПВВ IV класса. Отметка «плохо» соответствует заряду массой 0,6 кг: такой заряд в шпуре имеет ПВВ IV класса при взрывании по углю. При взрывании этого заряда в разрушаемой мортуре он вызывает примерно 50% воспламенений МВС, а в стальной мортуре с забойкой 1 см не дает воспламенений вообще. Для показателя « $A_2(m_{y2})$ – хорошо» принят открытый обнаженный заряд (m_0) в комбинированной мортуре массой 0,6 кг, при котором ПВВ VI класса не вызывают воспламенений метана. Отметка «плохо» соответствует уровню предохранительных свойств ПВВ V класса в уголкового мортуре

($m_o = 0,1$ кг). Показателю « $A_3(\Pi_{BB})$ – хорошо» соответствует масса воспламенителя Π_{50} , при которой в шпурах с забойкой не возможно выгорание ПВВ ($\Pi_{50} = 1,625$ г). Отметке «плохо» соответствует нормируемый техническими требованиями к ПВВ показатель поджигаемости $\Pi_{50} = 1,2$ г.

Таким образом, получен комплексный показатель антигрозутности зарядов ПВВ для оценки безопасности взрывных работ:

$$A(m_{BB}) = F(m_{мор}, m_{yz}, \Pi_{BB}) = F(m_{мор}) \cdot F(m_{yz}) \cdot F(\Pi_{BB}).$$

Для оценки по шкале функции антигрозутности $F(m_{мор}, m_{yz}, \Pi_{BB})$ необходимо получить среднее геометрическое значение комплексного показателя по формуле:

$$A(m_{BB}) = \sqrt[3]{A_1(m_{мор}) \cdot A_2(m_{yz}) \cdot A_3(\Pi_{BB})}. \quad (11)$$

Значение функции антигрозутности зарядов ПВВ IV, V, VI классов при взрывных работах в шахтах даны в табл. 2.

Определение комплексного показателя антигрозутности зарядов ПВВ показало, что аммонит Г5 имеет плохую оценку, угленит 13П – удовлетворительную, а угленит 10П очень хорошую. Необходимо отметить, что расчет комплексного показателя антигрозутности зарядов ПВВ необходимо делать для эквивалентных условий взрывания равных по работе взрыва зарядов.

Таблица 2 – Значение функции антигрозутности зарядов ПВВ при взрывании по углю

ПВВ (класс)	Значения параметров шпуровых зарядов и функции антигрозутности						$F(m_{мор}, m_{yz}, \Pi_{BB})$	$A(m_{BB})$
	$m_{мор}, кг$	$A_1(m_{мор})$	$m_{BB}, кг$	$A_2(m_{yz})$	$\Pi_{50}, г$	$A_3(\Pi_{BB})$		
Аммонит Г5 (IV)	0,6	0,2	0,05	0,1407	1,44	0,5901	0,0166	0,255
Угленит 13П (V)	1,0	0,6497	0,15	0,2669	1,44	0,5901	0,10234	0,468
Угленит 10П (VI)	1,2	0,800	0,60	0,800	1,72	0,86635	0,55446	0,822

Выводы

Исследования условий взрывания предохранительных ВВ различных классов и возможных опасных ситуаций, проявляющихся в забоях горных выработок при взрывных работах показали, что антигрозутность зарядов ПВВ различается в зависимости от их уровня предохранительности и устойчивости ВВ к выгоранию. Оказалось, что в опасных по газу угольных забоях горных выработок ПВВ IV класса имеют плохую оценку антигрозутности зарядов, ПВВ V класса только удовлетворительную, а ПВВ VI класса очень хорошую. Следовательно, обеспечение высокой безопасности взрывных работ в опасных по газу забоях выработок угольных шахт можно добиться только при применении ПВВ VI класса, например угленита 10П.

Библиографический список

1. Калякин С.А. Развитие научных основ безопасного производства взрывных работ в газоносных массивах угольных шахт: автореферат дисс. на соиск. науч. степени доктора технических наук: спец. 05.26.01. «Охрана труда» / С.А. Калякин. – Донецк, 2011. – 37 с.
2. Ахназарова С.Л. Методы оптимизации эксперимента в химической технологии / С.Л. Ахназарова, В.В. Кафаров. – М.: Высшая школа, 1985. – 319 с.
3. Калякин С.А. О комплексном показателе применимости предохранительных ВВ / С.А. Калякин, В.М. Расторгуев // Снижение травматизма при взрывных работах в угольных шахтах: Сб. научн. тр. МакНИИ. – Макеевка-Донбасс, 1988. – С. 56-59.
4. Технические требования к ВВ V и VI классов с повышенной устойчивостью против выгорания / [В.И. Зенин, Б.И. Вайнштейн, В.С. Казачков, М.С. Клейнер] // Уровень, динамика и причины производственного травматизма на угольных шахтах при ведении взрывных работ: Сб. научн. тр. МакНИИ. – Макеевка-Донбасс, 1983. – С. 14-19.
5. Гмурман В. Е. Руководство к решению задач по теории вероятности и математической статистике / В. Е. Гмурман. – М.: Высшая школа, 1975. – 333 с.

Надійшла до редакції 23.03.2012

С. О. Калякін

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», Донецьк, Україна

Обґрунтування безпеки використання запобіжних ВР під час вибухових робіт в вугільних шахтах

Вибуховий спосіб руйнування гірських порід у вугільних шахтах є найефективнішим. Для його здійснення застосовуються тільки запобіжні вибухові речовини (ВР). Разом з тим у вугільних шахтах при виробництві вибухових робіт іноді відбуваються аварії, пов'язані із запалюванням вибухонебезпечного середовища в забоях гірських виробок. Це пов'язано з тим, що іноді неможливо в силу прояву людського фактора точно встановити ступінь небезпеки забою при застосуванні того чи іншого класу запобіжної ВР. У статті дано обґрунтування безпеки застосування ВР при вибухових роботах в залежності від їх класу запобіжності.

Ключові слова: вибухова речовина, аварія, безпека.

S. Kalyakin

Donetsk National Technical University, Donetsk, Ukraine

Safe Application of Explosives for Blasting in Coal Mines

Rock destruction with blasting is the most effective. For this purpose only safe explosives can be used. However, blasting can lead to accidents caused by the ignition of explosive atmosphere in mine faces. Because sometimes, due to the human factor, it is impossible to precisely estimate the hazard level in a face when applying this or that type of explosives. This paper considers safe use of explosives for blasting depending upon their safety class.

Key words: explosives, accidents, safety.