

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗАРЯДОВ ВВ В ЗАБОЯХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК В КАЧЕСТВЕ СРЕДСТВ, КОТОРЫЕ СОЗДАЮТ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНУЮ СРЕДУ

Приведены нетривиальные результаты работы, подтверждающие возможность создания предохранительной буферной среды в забое горной выработки при взрывных работах зарядами ВВ. Это позволяет пересмотреть современную концепцию обеспечения взрывозащиты горных выработок и вызывает необходимость создания предохранительных ВВ нового поколения.

Современный уровень технологии подземной добычи угля характеризуется сложными горно-геологическими условиями ведения горных работ, большой глубиной разработки угольных пластов, их высокой газообильностью и выбросоопасностью. Высокая газообильность угольных пластов приводит к неконтролируемому дебиту метана в выработке из разрушенного массива или в результате внезапных выбросов угля и газа. Это приводит к образованию взрывчатых метановоздушных и пылевоздушных смесей (МВС и ПВС), которые при наличии источника высокой температуры взрываются, что приводит к авариям с тяжелыми последствиями. Современная концепция взрывозащиты горных выработок базируется на комплексе мероприятий по предупреждению воспламенений горючих смесей [1]. Он включает в себя не только способы и средства снижения концентрации газа и пыли до взрывобезопасных пределов и устранения условий возникновения источников высокой температуры, но и применение специальных (дополнительных) систем, способных предотвращать взрыв даже при наличии взрывоопасной среды и источника воспламенения (забойка, предохранительная среда, водяные завесы, пена, локализирующие заслоны). Вместе с тем эффективность действия задействованных данной концепцией средств и способов обеспечения безопасности горных работ низкая и зависима от человеческого фактора.

Наиболее взрывоопасными технологическими участками шахт, на которые приходится более 2/3 взрывов и вспышек газа метана от их общего числа, являются выемочные участки и тупиковые подготовительные выработки. Это те участки, на которых наиболее широко используют технологию разрушения горного массива, в том числе взрывные работы. Взрывные работы являются самым эффективным способом разрушения горных пород, в котором удачно сочетаются простота, технологичность, малозатратность, низкий расход энергии на разрушение единицы объема массива (0,15 кг ВВ на 1 м³ угля) с эффективностью и экономической целесообразностью. Вместе с тем, имели место случаи, когда применение ВВ в угольных шахтах приводило к взрывам и вспышкам МВС и ПВС в горных выработках, поэтому решение проблемы повышения

безопасности взрывных работ в опасных условиях шахт имеет важное научное и практическое значение.

Анализ последних исследований и публикаций показал следующее. В настоящее время считается, что основным источником воспламенения метана и угольной пыли при взрывных работах являются взрывчатые вещества [2]. При этом примерно в 60% случаев воспламенение происходит от детонирующего заряда ВВ, а в 40% от выгорающего шпурового заряда. Основными факторами, определяющими детонирующий заряд ВВ как источник воспламенения МВС, являются высокотемпературные продукты взрыва ВВ и мощная ударная волна, возникающие в окружающей заряд взрывоопасной среде. Выгорающий заряд ВВ характеризуется следующими факторами, определяющими его «агрессивность» по отношению к МВС. Это длительно действующий поток высокотемпературных продуктов горения ВВ и его горящие частицы, которые вместе с потоком при дефлаграции выбрасываются из зарядной полости шпура во взрывоопасную среду. Из этого следует, что если бы удалось создать предохранительные ВВ, детонирующие заряды которых не воспламеняли бы взрывоопасную среду, а их шпуровые заряды не давали бы выгораний ВВ, то есть были бы устойчивы против выгорания, то тогда безопасность взрывных работ в опасных условиях шахт была бы достигнута автоматически. Однако до настоящего времени решение проблемы безопасности взрывных работ с помощью самих ВВ, которые применяются для разрушения горных пород в опасных условиях шахт, не достигнуто. Поэтому специалисты считают, что снижение вероятности взрывов и вспышек метана или угольной пыли возможно только за счет применения средств дополнительной защиты в виде надежной забойки шпуров и создания в забоях выработки предохранительной среды [3]. По мнению автора работы [3], такая система способна предупредить воспламенение взрывоопасной среды или подавить (локализовать) в начальной стадии развития уже начавшееся воспламенение, тем самым не допустив развитие взрыва по сети горных выработок. Однако производственный опыт взрывных работ показывает, что обеспечить их необходимый уровень взрывобезопасности не удастся по причине «человеческого фактора» и недостаточности уровня антигризутности ВВ. Последний пример этому – авария, происшедшая в марте 2005 г. на шахте им. С.М. Кирова ГП «Макеевуголь» в результате воспламенения метана при производстве взрывных работ. Анализ обстоятельств и причин аварии показал, что применение ВВ повышенной предохранительности – угленита 13П (V класс), современной пластичной ингибиторной забойки – ИПЗ-1 и водораспылительных завес не обеспечило в забое создание предохранительной среды и предотвращение воспламенения метана. Взрывоопасная МВС воспламенялась в трещинах, которые пересекали шпуры в глубине массива и контактировали с зарядами ВВ по их свободной боковой поверхности. Таким образом, первопричиной обеспечения безопасности взрывных работ является, прежде всего, антигризутность предохранительных ВВ. Поэтому необходимо совершенствование этих ВВ не только в части повышения их безопасности, но и в части повышения эффективности и в придании им новых свойств, позволяющих в процессе

взрыва заряда создавать в забоях выработок предохранительную среду. Этот вопрос достаточно не исследован и требует как научного обоснования, так и экспериментального подтверждения.

Целью статьи является исследование зарядов ВВ в качестве средств, создающих в забоях выработок предохранительную среду и выбор для таких зарядов высокопредохранительных ВВ. Для этого необходимо решить следующие задачи: предупреждение воспламенения МВС от детонирующих и выгорающих зарядов ВВ и создание непрерывной газодисперсной предохранительной среды в забоях выработок. Эта среда должна состоять из смеси солей ингибиторов, продуктов взрыва ВВ, метана и воздуха, быть невзрывчатой и оказывать подавляющее и локализирующее действие на возможные источники воспламенения.

Основы теории взрывобезопасности и взрывозащиты горных выработок при взрывных работах с помощью предохранительной среды развиты в работах В.И. Стикачева и Н.Р. Шевцова [4,5]. Основные положения взрывозащиты сводятся к необходимости охлаждения продуктов горения источника до температуры, которая меньше минимально необходимой для воспламенения МВС и создания между источником и взрывоопасной средой так называемой буферной среды – инертной среды, предотвращающей разлет высокотемпературных продуктов взрыва и охлаждение их до безопасных пределов. Буферная среда представляет собой аэродисперсную систему, параметры которой зависят от величины концентрации распыленного в воздухе вещества – пламегасителя или ингибитора и его удельной теплопоглощающей способности. В результате развития теории локализации взрыва МВС и ПВС от взрыва ВВ буферной средой как аэродисперсной системой представилось возможным численно определить линейный размер зоны разлета раскаленных продуктов взрыва и параметры буферной среды, которые характеризуют ее предохранительные свойства (способность предотвращать воспламенение размещенной в ней по ходу расширения продуктов взрыва взрывоопасной среды). Эти параметры зависят от количества энергии, отбираемой материалом буферной среды у продуктов взрыва, отношения массы пламегасителя к массе продуктов взрыва, концентрации пламегасителя в буферной среде [6].

Концентрация пламегасителя в предохранительной буферной среде – $C_{n.c.}$ определяется по формуле:

$$C_{n.c.} = \frac{m_c}{S \cdot l_{б.с.}}, \text{ кг/м}^3, \quad (1)$$

где m_c – масса пламегасителя, идущего на создание предохранительной буферной среды, кг;

S – сечение выработки, в которой создается буферная среда, м²;

$l_{б.с.}$ – длина буферной среды, обладающей взрывопредотвращающим действием, м.

Если предохранительная среда создается взрывом ВВ, в результате которого расширяющийся газодисперсный поток из газообразных продуктов и ингибитора, образовавшихся при взрыве, взаимодействует с горючей средой, то длина буферной предохранительной среды согласно уравнению (1) будет равна:

$$l_{BB} = l_{\sigma.c.} = \frac{\varepsilon \cdot m_{BB}}{S \cdot C_{n.c.}}, \quad (2)$$

где m_{BB} – масса взрываемого ВВ, кг;

ε - содержание ингибитора в ВВ, кг/кг.

Т.к. предохранительная среда создается расширяющимися продуктами взрыва ВВ, уравнение (2) запишем следующим образом:

$$\frac{dl}{dt} \cdot dt = \frac{\varepsilon \cdot m_{BB}}{S \cdot K \cdot C_{n.c.}}; \quad (3)$$

Учитывая, что $\frac{dl}{dt} = u$ - это скорость движения частиц ингибитора при формировании буферной среды, которая изменяется за интервал времени dt от начального значения $u_n = \frac{D}{n+1}$ до конечного $u_k = 0$ при окончательном торможении частиц ингибитора в воздухе, из уравнения (3) получим:

$$\frac{D}{2(n+1)} \cdot \Delta t_T = \frac{\varepsilon \cdot m_{BB}}{S \cdot K \cdot C_{n.c.}} \quad (4)$$

где D – скорость детонации ВВ, м/с;

Δt_T – временной интервал торможения и витания частиц ингибитора во взрывоопасной среде, с;

K – коэффициент, учитывающий изменение концентрации ингибитора от начального значения C_n в продуктах взрыва ВВ до конечной концентрации $C_{\sigma.c.}$ на момент торможения ингибитора в буферной среде;

n – показатель политропы процесса детонации ВВ.

Из уравнения (4) легко получить критические условия воспламенения, при которых взрыв предохранительного ВВ создает во взрывоопасной смеси предохранительную среду. При этом должно выполняться следующее условие:

$$C_{n.c.} = K \cdot C_{\sigma.c.} \quad (5)$$

Уравнения (1) и (5) удовлетворяют критическому условию, определяющему концентрацию ингибитора в предохранительной буферной среде:

$$C_{n.c.} \geq C_{\sigma.c.} \text{ или } K = \frac{C_{n.c.}}{C_{\sigma.c.}} \geq 1. \quad (6)$$

С учетом этого условия уравнение (4) примет следующий вид:

$$K = \frac{2\varepsilon \cdot m_{BB} \cdot (n+1)}{S \cdot C_{\sigma.c.} \cdot D \cdot \Delta t_T} = 1.$$

При $C_{n.c.} = C_{\sigma.c.}$ получим уравнение для расчета массы заряда ВВ – m_{BB} , который обеспечит при его взрыве создание в забое предохранительной среды:

$$m_{BB} = \frac{S \cdot C_{\sigma.c.} \cdot D \cdot \Delta t_T}{2\varepsilon \cdot (n+1)}, \text{ кг.} \quad (7)$$

С помощью уравнения (7) рассчитаем массы зарядов ВВ, которые создадут в забое выработки предохранительную буферную среду. Для того, чтобы проверить эти расчеты, сравним их с результатами опытов, проведенных в условиях опытного штрека МакНИИ. Испытания свободно подвешенных зарядов

ВВ на безопасность взрывания в МВС были проведены под руководством М.К. Песоцкого. Результаты расчетов и результаты опытов в опытном штреке приведены в таблице.

Таблица

Расчет зарядов ВВ для создания
предохранительной среды в опытном штреке

ВВ	Класс ВВ	ε , кг/кг	Сечение штрека, м ²	$C_{П.В.}^*$, кг/м ³	D, м/с	n	$\Delta t_{Т}^{**}$, мс	$m_{ВВ}$, кг	Экспериментальная масса заряда, кг
Угленит Э-6	V	0,39	2,5	0,0133	2224	2,05	15±7	0,683	0,250
Угленит 13П	V	0,255	2,5	0,0133	2320	2,09	15±7	1,077	0,200
Угленит 10П	VI	0,336	2,5	0,0133	1958	2,1	15±7	0,687	0,800
Ионит	VII	0,372	2,5	0,0133	1676	2,21	15±7	0,513	1,5

* - взрывозащитная концентрация ингибитора NaCl в предохранительной буферной среде, полученная Н.Р. Шевцовым в работе [6].

** - интервал времени выбран в соответствии со временем замедления короткозамедленных детонаторов ЭДКЗ-15ПМ, используемых для взрывания.

В качестве заряда, воспламеняющего МВС, использовали заряд ВВ IV класса – аммонит Т-19 массой 0,15 кг.

Результаты, полученные в работе, наглядно показывают возможность создания предохранительной буферной среды в опытном штреке с помощью зарядов ВВ. При этом оказывается, что не все предохранительные ВВ могут быть использованы для этих целей. Так, ПВВ V класса – углениты Э-6 и 13П могут создать предохранительную среду только зарядами, которые в несколько раз превышают массы их предельных зарядов, т.е. зарядов, которые не воспламеняют МВС в открытом виде ($m_{ВВ} > M_{пр}$). Это указывает на то, что данные ВВ не могут быть использованы в зарядах для создания предохранительной среды. Противоположный результат получен при взрывании зарядов угленита 10П и ионита. У этих ВВ масса предельного заряда больше массы заряда, который необходим для создания предохранительной буферной среды ($M_{пр} > m_{ВВ}$) в условиях опытного штрека. Поэтому оба ВВ могут быть использованы для зарядов, которые создают предохранительную буферную среду в забое выработки.

Выводы.

1. Рассмотрена проблема создания в забое горных выработок предохранительной среды взрывчатыми веществами V – VII классов.

2. На базе теории взрывозащиты горных выработок и создания предохранительной буферной среды получено аналитическое решение, позволяющее установить массу заряда ВВ, необходимую для создания предохранительной среды в забое.

3. Экспериментально доказано существование зарядов, создающих предохранительную среду, у предохранительных ВВ VI и VII классов. Результаты расчетов масс этих зарядов хорошо согласуются с их экспериментальными значениями.

4. Доказана возможность создания предохранительных ВВ нового поколения, которые в процессе ведения взрывных работ разрушают горный массив при детонации зарядов и не воспламеняют МВС и ПВС, а их газодисперсные продукты взрыва заполняют призабойную часть пространства выработки и создают предохранительную буферную среду, предотвращающую воспламенение взрывоопасной смеси от спонтанного источника.

5. Результаты работы позволяют разработать новую концепцию обеспечения безопасности взрывных работ, основанную на применении предохранительных ВВ нового поколения, которые сами создают предохранительную среду, исключая неквалифицированные действия рабочего персонала.

Дальнейшие исследования необходимо продолжить в направлении создания предохранительных ВВ нового поколения, в том числе и для сотрясательного взрывания на пластах, опасных по внезапным выбросам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шевцов Н.Р. Современная концепция взрывозащиты горных выработок// Технология и проектирование подземного строительства: Вестник - Донецк: Норд-пресс, 2003.- Вып. 3 – С. 98-105.

2. Александров В.Е., Шевцов Н.Р., Вайнштейн Б.И. Безопасность взрывных работ в угольных шахтах. – М.: Недра, 1986. –147с.

3. Шевцов Н.Р. Взрывозащита горных выработок. Учебное пособие для ВУЗов. – Донецк: Норд-пресс, 2002. – 280с.

4. Стикачев В.И. Создание предохранительной среды при взрывных работах. – М.: Недра, 1972. – 112с.

5. Шевцов Н.Р. Теория локализации взрыва, способы и средства взрывозащиты горных выработок при взрывных работах.// Автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.26.01/ Дон. полит. ин-т. – Донецк, 1992. – 45с.

6. Калякин С.А., Шевцов Н.Р. Исследование влияния параметров буферной среды на способность метанопылевоздушных смесей воспламеняться от взрывного импульса// Труды ДонНТУ, серия горно-геол., Вып. 45. – Донецк, ДонНТУ, 2002. – С. 123-129.